

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации
имени А.Н. КОСТЯКОВА»**

**СТРАТЕГИЯ МЕЛИОРАЦИИ В ЭПОХУ
КЛИМАТИЧЕСКИХ ВЫЗОВОВ: ВОДОСБЕРЕЖЕНИЕ
И ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Коллективная монография

Москва 2026

УДК 631.6

ББК 40.6

СТРАТЕГИЯ МЕЛИОРАЦИИ В ЭПОХУ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВЫЗОВОВ: ВОДОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. К 60-летию Масштабной программы развития мелиорации: Коллективная монография / Красников Г.Я., Кашин В.И., Хачиров Б.Б., Овчинников А.С., Хлыстун В.Н., Шевченко В.А., Щедрин В.Н., Гаркуша С.В., Лихацевич А.П., Новиков А.Е., Ольгаренко Г.В., Бондарева Г.И., Дедова Э.Б., Захарова О.А., Исаева С.Д., Карпенко Н.П., Кирейчева Л.В. и др. М.: ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2026. – 468 с.

ISBN 978-5-907464-01-8

DOI 10.37738/VNIIGIM.2026.46.38.001

Рецензенты:

В.М. Косолапов - академик РАН, д.с.-х.н., профессор, ФГБНУ ФНЦ "ВИК им. В.Р. Вильямса".

А.А. Завалин - академик РАН, д.с.-х.н., профессор, профессор, ФГБНУ ФНЦ "Почвенный институт имени В.В. Докучаева".

В монографии представлены история и опыт развития гидромелиоративных работ в различных регионах России, Узбекистана, Туркменистана и Таджикистана, особенности освоения склоновых земель, механизации мелиоративных работ, проведения фитомелиоративных мероприятий, вопросы растениеводства и селекции, экосистемного водопользования и эксплуатации гидротехнических сооружений мелиоративного комплекса.

Монография предназначена для специалистов в области водного хозяйства, мелиорации и рекультивации земель, почвоведения, геоэкологии, охраны окружающей среды, а также для аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

Рассмотрено и одобрено на Ученом Совете ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова».

Все материалы публикуются в авторской редакции в соответствии с заявленными требованиями.

Авторы:

Красников Г.Я., Кашин В.И., Хачиров Б.Б., Овчинников А.С., Хлыстун В.Н., Шевченко В.А., Щедрин В.Н., Гаркуша С.В., Лихацевич А.П., Новиков А.Е., Ольгаренко Г.В., Бондарева Г.И., Дедова Э.Б., Захарова О.А., Исаева С.Д., Карпенко Н.П., Кирейчева Л.В., Курбанов С.А., Лоскин М.И., Магомедова Д.С., Мажайский Ю.А., Медведева Л.Н., Мещеряков М.П., Морковкин Г.Г., Москвичев А.Ю., Новиков А.А., Носаль А. П., Нурзода Н.Н., Пыленок П.И., Семененко С.Я., Соловьев А.М., Угрюмова А.А., Хисматуллин М.М., Храбров М. Ю., Шамсутдинов Н.З., Бахриев С.Х., Давлатшоев С.К., Анженков А.С., Болдырев В.В., Боровиков А.А., Бурцева Н.И., Буряк С.М., Головинов Е.Э., Гостищев В.Д., Гулин А.В., Дедов А.А., Дуброва Ю.Н., Евсенкин К.Н., Земляницына С.В., Ивина И.П., Ильинский А.В., Исаев О.И., Калинин Р.В., Кепбанов П.А., Куприянов А. А., Мешик О.П., Молоканцева Е.И., Негматов Т.А., Паутова Л.Е., Пономаренко Т.С., Попова Н.П., Рахманов А.А., Рогачев Д.А., Родин К.А., Филь П.П., Хожанов Н.Н., Черникова О.В., Шамсутдинова Э.З., Гертман Л.Н., Агапова С.А., Голубенко М.И., Джумамурадова Г.А., Дурдыева О.П., Кульчев А.Ю., Розьев С.Ч., Сазонов А.А., Беденко А.Е., Боровая А.К., Бреева А.В., Габуншина А.А., Сенько Е.И., Сиуков С.С., Хархардинов Н.А., Шведенко К.А., Шишлянникова М.В., Арискин М.Р., Богомолова Н.В., Кажгалиев А.С., Власкин В.Ф., Лапина Т.В., Максимов П.Е., Николаев А.А., Осадчий Д.М., Тютяева И.А., Хрулёв М.А., Бегланов А.Н., Кузьмина А. А., Бессуднова А. Г., Чернавских Д.А., Борушко М.В., Протасевич А.С., Хлывнюк А.Р. (сведения об авторах см. в конце издания)

УДК 631.6

ББК 40.6

ISBN 978-5-907464-01-8

DOI 10.37738/VNIIGIM.2026.46.38.001

© Авторы монографии, 2026

© ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПОСТАНОВЛЕНИЕ ПЛЕНУМА ЦК КПСС 27 мая 1966 г.	11
ПРИВЕТСТВИЯ	16
РАЗВИТИЕ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ - БУДУЩЕЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИИ (Шевченко В.А.)	19
Глава 1 ИСТОРИЯ, ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ	27
1.1 О СТРАТЕГИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЯХ ЗЕМЕЛЬНОЙ ПОЛИТИКИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (Хлыстун В.Н.)	27
1.2 ВЫСШЕЕ МЕЛИОРАТИВНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ (Дуброва Ю.Н., Боровиков А.А.)	37
1.3 ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕЛИОРАЦИИ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ С УЧЕТОМ СРЕДНЕСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ТЕПЛО- ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ АГРОЛАНДШАФТОВ (Ольгаренко Г.В.)	44
1.4 КАДРОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МЕЛИОРАТИВНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА ОТРАСЛИ (Угрюмова А.А., Паутова Л.Е.)	56
Глава 2 КОМПЛЕКСНАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ И ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ	64

CONTENTS

RESOLUTION OF THE PLENUM of the Central Committee of the CPSU on May 27, 1966	11
GREETINGS	16
LAND RECLAMATION DEVELOPMENT - THE FUTURE OF AGRICULTURE IN RUSSIA (Shevchenko V.A.)	19
Chapter 1 EXPERIENCE AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF IRRIGATED AGRICULTURE IN VARIOUS REGIONS	27
1.1 ABOUT THE STRATEGIC DIRECTIONS OF LAND POLICY IN THE RUSSIAN FEDERATION (Khlystun V.N.)	27
1.2 HIGHER EDUCATION FOR LAND RECLAMATION IN THE REPUBLIC OF BELARUS: PROBLEMS AND SOLUTIONS (Dubrova Yu.N., Borovikov A.A.)	37
1.3 PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF LAND RECLAMATION IN THE NORTH CAUCASUS, TAKING INTO ACCOUNT THE MEDIUM-TERM FORECAST OF HEAT AND MOISTURE SUPPLY OF AGROLANDSCAPES (Olgarenko G.V.)	44
1.4 HUMAN RESOURCE POTENTIAL OF LAND RECLAMATION ORGANIZATIONS TO ACHIEVE THE TECHNOLOGICAL SOVEREIGNTY OF THE INDUSTRY (Ugryumova A.A., Pautova L.E.)	56
Chapter 2 COMPREHENSIVE LAND RECLAMATION AND NATURE-LIKE TECHNOLOGIES FOR INCREASING SOIL FERTILITY	64

2.1 ЗАПАСЫ ОБЩЕЙ И ПРОДУКТИВНОЙ ВЛАГИ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ОБРАБОТКИ СЕВЕРНЫХ ЧЕРНОЗЁМОВ		2.1 RESERVES OF TOTAL AND PRODUCTIVE MOISTURE IN THE DIFFERENT PROCESSING METHODS OF NORTHERN CHERNOZEMS	
(Арискин М.Р.)	64	(Ariskin M.R.)	64
2.2 ФИТОМЕЛИОРАЦИЯ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВЕННОЙ СРЕДЫ		2.2 PHYTOREMEDIATION OF FALLOW LANDS FOR REGULATION OF SOIL ACIDITY ENVIRONMENT	
(Буряк С.М., Черникова О.В.)	71	(S.M. Buryak, Chernikova O.V.)	71
2.3 ПРИМЕНЕНИЕ ФОСФОГИПСА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ, УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР		2.3 APPLICATION OF PHOSPHOGYPSUM FOR ENHANCING SOIL FERTILITY, YIELD, AND QUALITY OF VEGETABLE PRODUCE	
(Гулин А.В., Габуншина А.А.)	76	(Gulin A.V., Gabunshina A.A.)	76
2.4 ФИТО- И ВОДНАЯ МЕЛИОРАЦИЯ В ТУРКМЕНИСТАНЕ (НА ПРИМЕРЕ ТУРКМЕНСКОГО ОЗЕРА АЛТЫН АСЫР И КАРАКУМСКОГО КАНАЛА)		2.4 PHYTO- AND WATER RECLAMATION IN TURKMENISTAN (CASE STUDY OF THE ALTYN ASYR TURKMEN LAKE AND THE KARAKUM CANAL)	
(Джумамурадова Г.А.)	86	(Jumamuradova G.A.)	86
2.5 БЕСПИЛОТНЫЙ НАДВОДНЫЙ АППАРАТ «МОРФ – 1» ДЛЯ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЛИОРАТИВНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ		2.5 UNMANNED SURFACE VEHICLE "MORF – 1" FOR MORPHOMETRIC MEASUREMENTS OF CHARACTERISTICS OF RECLAMATION WATER BODIES	
(Кульчев А.Ю.)	95	(Kulchev A.Yu.)	95
2.6 МЕЛИОРАЦИЯ – ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ: СОСТОЯНИЕ И ПУТИ РЕШЕНИЯ		2.6 RECLAMATION - THE BASIS FOR INCREASING FERTILITY OF IRRIGATED LANDS: STATUS AND SOLUTIONS	
(Магомедова Д.С., Курбанов С.А.) ...	99	(Magomedova D.S., Kurbanov S.A.)	99
2.7 КОМПЛЕКСНАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ТЕХНОГЕННО – ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ГУМИНО-КРЕМНИЕВЫХ МЕЛИОРАНТОВ		2.7 COMPLEX RECLAMATION OF TECHNOGENICALLY POLLUTED SOILS USING NATURAL HUMIC-SILICUM RECLAMATION AGENTS	
(Овчинников А.С., Мешеряков М.П.)	106	(Ovchinnikov A.S., Meshcheryakov M.P.)	106
2.8 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ МЕЛИОРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИЙ		2.8 THE USAGE OF REMOTE SENSING METHODS TO ASSESS THE LAND RECLAMATION STATUS	
(Осадчий Д.М., Морковкин Г.Г.)	114	(Osadchiy D.M., Morkovkin G.G.)	114

2.9 ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ВЕГЕТАЦИИ СОИ СЕВЕРНОГО ЭКОТИПА НА ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ ПРИ РАЗНЫХ ТИПАХ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ (Попова Н.П., Боровая А.К., Тютяева И.А.)	124	2.9 DURATION OF THE GROWING PERIOD OF NORTHERN ECOTYPE SOYBEAN ON SOD- PODZOLIC SOILS OF THE CENTRAL NON-CHERNOZEM REGION UNDER THE DIFFERENT NITROGEN NUTRITION TYPES (Popova N.P., Borovaya A.K., Tyutyaeva I.A.)	124
2.10 СТРАТЕГИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ (Шамсутдинов Н.З., Шамсутдинова Э.З.)	133	2.10 BIOLOGICAL LAND RECLAMATION STRATEGIES FOR THE DEGRADED LANDS (Shamsutdinov N.Z., Shamsutdinova E.Z.)	133
2.11 ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ СВИНОВОДСТВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО БАЛАНСА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В АГРОЦЕНОЗЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ (Шевченко В. А., Соловьев А. М., Бондарева Г. И.)	146	2.11 EFFECTIVENESS OF USING PIG BREEDING WASTE TO CREATE A POSITIVE ORGANIC MATTER BALANCE IN THE WINTER WHEAT AGROCENOSIS (Shevchenko V.A., Solovyov A.M., Bondareva G.I.)	146
2.12 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПУСТЫННЫХ ПАСТБИЩ ПРИКАСПИЙСКИХ ПУСТЫНЬ (Кепбанов П.А., Розыев С.Ч., Дурдыева О.П.)	157	2.12 THE CURRENT STATE OF DESERT PASTURES IN THE CASPIAN DESERTS (Kepbanov P.A., Rozyyev S.Ch., Durdyeva O.P.)	157
2.13 РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА МНОГОСЛОЙНОГО МАССИВА (Рахманов А.А., Негматов Т.А.)	165	2.13 CALCULATION OF SLOPE STABILITY OF A MULTILAYER MASSIF (Rakhmanov A.A., Negmatov T.A.)	165
Глава 3 ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПО- ГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ	176	Chapter 3 WATER MANAGEMENT PROBLEMS AND RATIONAL USAGE OF WATER RESOURCES IN THE CONTEXT OF CLIMATIC AND ANTHROPOGENIC CHANGES	176
3.1 РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ (Бегланов А.Н.)	176	3.1 RATIONAL USAGE OF WATER RESOURCES UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS (Beglanov A.N.)	176
3.2 СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА УВЛАЖНЕННОСТИ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАЙОНОВ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ (Богомоллова Н.В., Новиков А.Е.)	182	3.2 COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE MOISTURE CONTENT OF THE LANDS OF FORESTRY DISTRICTS OF THE VOLGOGRAD REGION (Bogomolova N.V., Novikov A.E.)	182

3.3 УПРАВЛЕНИЕ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫМИ ПРИРОДНЫМИ ТЕРРИТОРИЯМИ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ НА ПРИМЕРЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «БРАСЛАВСКИЕ ОЗЕРА» (Гертман Л.Н., Сенько Е.И., Сазонов А.А.)	188	3.3 MANAGEMENT OF SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS UNDER INTENSIVE HYDROTECHNICAL LAND RECLAMATION CONDITIONS ON THE EXAMPLE OF THE BRASLAV LAKES NATIONAL PARK (Hertman L.B., Senko E.I., Sazonov A.A.)	188
3.4 АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА (Головинов Е.Э., Бессуднова А.Г.) ...	197	3.4 AGROCLIMATIC MONITORING AND ASSESSMENT OF EXTREME CLIMATE EVENTS FOR AGRICULTURAL APPLICATIONS (Golovinov E.E., Bessudnova A.G.)	197
3.5 МАЛООБЪЁМНЫЕ СПОСОБЫ ОРОШЕНИЯ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ОАЗИСНОГО ТИПА (Дедов А.А., Дедова Э.Б.)	203	3.5 SMALL-VOLUME IRRIGATION METHODS FOR OASIS-TYPE IRRIGATION SYSTEMS (Dedov A.A., Dedova E.B.)	203
3.6 МОНИТОРИНГ ЗАПАСОВ ВОДЫ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ПОЙМЕННЫХ МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ (Ильинский А.В., Евсенкин К.Н.)	210	3.6 MONITORING OF WATER RESERVES IN THE SNOW COVER OF FLOODPLAIN RECLAIMED LANDS (Il'yinsky A.V., Evsenkin K.N.)	210
3.7 ПЛАТА ЗА ВОДУ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА: МЕЖДУНАРОДНЫЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ (Исаев О.И.)	215	3.7 PAYMENT FOR WATER FOR AGRICULTURE: INTERNATIONAL AND DOMESTIC EXPERIENCE (Isaev O.I.)	215
3.8 КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЮ РЕЧНОГО СТОКА В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ (Исаева С.Д.)	221	3.8 CONCEPTUAL APPROACHES TO THE REDISTRIBUTION OF RIVER RUNOFF UNDER WARMING CONDITIONS (S.D. Isaeva)	221
3.9 МОДЕЛЬНО- АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМНЫМ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ (Кирейчева Л.В., Рогачев Д.А., Хисматуллин М.М.)	229	3.9 MODEL AND ALGORITHMIC SUPPORT OF A DIGITAL TWIN FOR WATER USE MANAGEMENT IN INTER-FARM IRRIGATION SYSTEMS (Kireycheva L.V., Rogachev D.A., Khismatullin M.M.)	229
3.10 К ВОПРОСУ УСТАНОВЛЕНИЯ ГРАНИЦ ВОДНОГО ОБЪЕКТА ДЛЯ ОСУШЕННЫХ БОЛОТ (Кузьмина А.А., Носаль А.П.)	244	3.10 ON THE QUESTION OF ESTABLISHING THE BOUNDARIES OF A WATER BODY FOR DRAINED SWAMPS (Kuzmina A.A., Nosal A.P.)	244

3.11 ИЗМЕНЕНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ОРОШАЕМОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН И ИХ ВЛИЯНИЕ НА МЕЛИОРАЦИЮ (Курбанов С.А., Магомедова Д.С.) ...	252	3.11 CHANGES IN AGROCLIMATIC RESOURCES OF THE IRRIGATED ZONE OF THE REPUBLIC OF DAGESTAN AND THEIR IMPACT ON LAND RECLAMATION (Kurbanov S.A., Magomedova D.S.) ...	252
3.12 К ПРОБЛЕМЕ НОРМИРОВАНИЯ ДОПУСТИМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ПРИВНОСЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА БОЛОТА (Лапина Т.В., Носаль А.П.)	260	3.12 THE PROBLEM OF SETTING PERMISSIBLE IMPACTS OF POLLUTANTS ON SWAMPS (Lapina T.V., Nosal A.P.)	260
3.13 КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА НАПОРА НА МЕЛИОРИРУЕМЫХ СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ (Мажайский Ю.А., Голубенко М.И.)..	268	3.13 CONSTRUCTIVE SOLUTIONS FOR AUTOMATIC PRESSURE REGULATOR ON RECKLAIMED SLOPING LANDS (Mazhayskiy Yu.A., Golubenko M.I.) ...	268
3.14 ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ МАЛЫХ РЕК И ПАРАМЕТРЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ (Максимов П.Е., Николаев А.А., Лоскин М.И.)	273	3.14 IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE SMALL RIVERS AND THE PARAMETERS OF HYDRAULIC STRUCTURES IN CENTRAL YAKUTIA (Maksimov P.E., Nikolaev A.A., Loskin M. I.)	273
3.15 УВЛАЖНЕННОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА (Мешик О.П., Мажайский Ю.А., Борушко М.В., Хлывнюк А.Р., Протасевич А.С.)	278	3.15 MOISTURE CONDITIONS OF AGRICULTURAL LANDS IN BELARUS UNDER CLIMATE WARMING (Meshik O.P., Mazhayskiy Yu.A., Borushko M.V., Khlyvnyuk A.R., Protasevich A.S.)	278
3.16 ОЦЕНКА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЗОВСКОГО МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА ПРИ ДИСКРЕТНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ (Пономаренко Т.С., Гостищев В.Д., Бреева А.В.)	289	3.16 ASSESSMENT OF HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE AZOV MAIN CANAL UNDER DISCRETE OPERATING MODE OF THE PUMPING STATION (Ponomarenko T.S., Gostishchev V.D., Breeva A.V.)	289
3.17 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОДОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ НАГРУЗКИ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ (Хожанов Н.Н.)	296	3.17 IMPROVEMENT OF WATER-SAVING TECHNOLOGIES FOR CULTIVATION OF AGRICULTURAL CROPS AND METHODS FOR REDUCING PRESSURE ON WATER RESOURCES IN THE AGRO- INDUSTRIAL COMPLEX (Khozhanov N.N.)	296

3.18 КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ВЫДЕЛЕНИЮ И КАРТОГРАФИРОВАНИЮ ЗОН ПОДТОПЛЕНИЯ В ПРИБРЕЖНЫХ ЗОНАХ ВОДОХРАНИЛИЩ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС, ПЕДОТРАНСФЕРНЫХ ФУНКЦИЙ И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ (Хрулёв М.А.)	306	3.18 COMPREHENSIVE APPROACH TO THE IDENTIFICATION AND MAPPING OF FLOODING ZONES IN COASTAL AREAS OF RESERVOIRS USING GIS, PEDOTRANSFER FUNCTIONS AND REMOTE SENSING (Khrulyov M.A.)	306
3.19 СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАЗЕМНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ПРОДУКТОВ РЕАНАЛИЗА ERA-5 ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕСУРСОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД КАЛМЫКИИ (Чернавских Д.А., Носаль А.П.)	314	3.19 COMPARATIVE ANALYSIS OF TERRESTRIAL HYDROMETEOROLOGICAL DATA AND ERA-5 REANALYSIS PRODUCTS FOR ASSESSING SURFACE WATER RESOURCES OF THE KALMYKIA (Nosal A.P., Chernavskikh D.A.)	314
3.20 РЕШЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ ГИС- МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОДОСБОРА РЕКИ КАЗАНКА (Шведенко К.А.)	320	3.20 SOLVING HYDROLOGICAL AND GEOECOLOGICAL PROBLEMS USING GIS-BASED MODELING OF THE KAZANKA RIVER CATCHMENT (Shvedenko K.A.)	320
3.21 РАЗВИТИЕ МЕЛИОРАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ АЛТАЙ (Щедрин В.Н., Медведева Л.Н.)	326	3.21 DEVELOPMENT OF LAND RECLAMATION IN THE ALTAI REPUBLIC (Shchedrin V.N., Medvedeva L.N.)	326
Глава 4 КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОСУШЕНИЮ ИЗБЫТОЧНО УВЛАЖНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ	336	Chapter 4 WATER RESOURCES AND HYDRAULIC STRUCTURES OF THE LAND RECLAMATION COMPLEX	336
4.1 СТРАТЕГИЯ АДАПТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕЛИОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСА БЕЛАРУСИ (Анженков А.С., Лихацевич А.П.)	336	4.1 STRATEGY FOR ADAPTIVE EXPLOITATION OF THE MELIORATION COMPLEX OF BELARUS (Anzhenkov A.S., Likhatsevich A.P.) ...	336
4.2 ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ДРЕНАЖНОГО СТОКА И РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ВЕСЕННЕГО ПАВОДКА (Калиниченко Р.В., Филь П.П., Хархардинов Н.А.)	349	4.2 APPLICATION OF A DIGITAL HYDROLOGICAL COMPLEX FOR QUANTITATIVE ASSESSMENT OF DRAINAGE FLOW AND REGISTRATION OF SPRING FLOOD PARAMETERS (Kalinichenko R.V., Fil P.P., Kharkhardinov N.A.)	349

4.3 НАУЧНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОСУШАЕ- МЫХ ТОРФЯНЫХ ЗЕМЕЛЬ (Карпенко Н.П., Захарова О.А.)	357	4.3 A SCIENTIFIC APPROACH TO ASSESSING THE CONDITION OF DRAINED PEAT LANDS (Karpenko N.P., Zakharova O.A.)	357
4.4 ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОСУШЕНИЯ БОЛОТ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ В ПЕРИОД ПРОВЕДЕНИЯ МАСШТАБНОЙ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ (Пыленок П.И.)	366	4.4 STUDIES OF THE IMPACT OF SWAMP DRAINAGE ON THE ENVIRONMENT DURING LARGE- SCALE LAND RECLAMATION IN THE NON-CHERNOZEM ZONE (Pylenok P.I.)	366
Глава 5 <i>ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ</i>	380	Chapter 5 <i>INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF IRRIGATED AGRICULTURE</i>	380
5.1 ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН И ФОЛИАРНЫХ ОБРАБОТОК НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА СОИ ПРИ ОРОШЕНИИ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ (Агапова С.А., Москвичев А.Ю.)	380	5.1 THE EFFECT OF SEED INOCULATION AND FOLIAR TREATMENTS ON SOYBEAN GRAIN YIELD AND QUALITY DURING IRRIGATION IN THE LOWER VOLGA REGION (Agapova S.A., Moskvichev A. Yu.)	380
5.2 УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРЕРЫВИСТОЙ ПОДАЧИ ВОДЫ В КАПЕЛЬНУЮ СИСТЕМУ ОРОШЕНИЯ (Бахриев С.Х., Давлатшоев С.К., Нурзода Н.Н.)	388	5.2 A DEVICE FOR INTERMITTENT WATER SUPPLY IN A DRIP IRRIGATION SYSTEM (Bahriev S.H., Davlatshoev S.K., Nurzoda N.N.)	388
5.3 ПРИМЕНЕНИЕ НОРМАЛИЗОВАННОГО РАЗНОСТНОГО ИНДЕКСА ВЛАЖНОСТИ (NDMI) В АЛГОРИТМАХ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМ СТРЕССОМ АГРОЦЕНОЗОВ (Беденко А.Е.)	397	5.3 APPLICATION OF THE NORMALIZED DIFFERENCE HUMIDITY INDEX (NDMI) IN ALGORITHMS OF OPERATIONAL MANAGEMENT OF WATER STRESS OF AGROCENOSSES (Bedenko A.E.)	397
5.4 АДАПТИВНАЯ СТРАТЕГИЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА (Гаркуша С.В.)	402	5.4 ADAPTIVE PLANT GROWING STRATEGY IN THE CONTEXT OF GLOBAL CLIMATE CHANGE (Garkusha S.V.)	402
5.5 РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ БИОЛОГИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ (Новиков А.А., Родин К.А., Кажгалиев А.С.)	411	5.5 RESOURCE-SAVING POTATO CULTIVATION TECHNOLOGY WITH ELEMENTS OF A BIOLOGIZED PROTECTION SYSTEM (Novikov A.A., Rodin K.A., Kazgaliev A.S.)	411
5.6 ПРОТИВОЭРОЗИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ В ОРОШАЕМОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ (Сиуков С.С., Семененко С.Я.)	416	5.6 ANTI-EROSION MEASURES IN IRRIGATED FARMING (Siukov S.S., Semenenko S.Ya.)	416

5.7 КОНСТРУКЦИЯ КОМБИНИРОВАННОГО УВЛАЖНИТЕЛЯ, ВКЛЮЧАЮЩЕГО УСТРОЙСТВО ВНУТРИПОЧВЕННОГО ОРОШЕНИЯ ПОВЫ И МЕЛКОДИСПЕРСНОЕ УВЛАЖНЕНИЕ РАСТЕНИЙ (Храбров М.Ю.)	422	5.7 THE DESIGN OF COMBINED HUMIDIFIER INCLUDES A DEVICE FOR SUBSURFACE SOIL IRRIGATION AND FINE-MIST PLANT HUMIDIFICATION (Khrabrov M.Yu.)	422
Глава 6 НОВЫЕ СОРТА И ГИБРИ- ДЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В МЕЛИОРАТИВНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ	426	Chapter 6 NEW VARIETIES AND HYBRIDS OF AGRICULTURAL CROPS IN RECLAMATION FARMING	426
6.1 ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ НА НИТРИФИКАЦИОННУЮ АКТИВНОСТЬ ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ (Бондарева Г.И., Арискин М.Р.)	426	6.1 INFLUENCE OF PRIMARY TILLAGE METHODS ON THE NITRIFICATION ACTIVITY OF SOD- PODZOLIC SOIL (Bondareva G.I., Ariskin M.R.)	426
6.2 ПИТАТЕЛЬНАЯ ЦЕННОСТЬ ОДНОЛЕТНИХ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ (Бурцева Н.И., Молоканцева Е.И., Болдырев В.В., Земляницына С.В., Ивина И.П.)	430	6.2 NUTRITIVE VALUE OF ANNUAL FODDER CROPS UNDER IRRIGATED CONDITIONS OF THE LOWER VOLGA REGION (Burtseva N.I., Molokantseva E.I., Boldyrev V.V., Zemlyanitsyna S.V., Ivina I.P.)	430
6.3 АДАПТАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ТЕХНИЧЕСКИХ (ВИННЫХ) СОРТОВ ВИНОГРАДА В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ (Куприянов А.А., Шишлянникова М.В.)	438	6.3 ADAPTIVE POTENTIAL OF TECHNICAL (WINE) GRAPE VARIETIES IN THE CONDITIONS OF THE LOWER VOLGA REGION (Kupriyanov A.A., Shishlyannikova M.V.)	438
Глава 7 ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОР- МАЦИЯ МЕЛИОРАТИВНО- ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА	446	Chapter 7 DIGITAL TRANSFORMATION OF THE MELIORATION AND WATER MANAGEMENT COMPLEX	446
7.1 ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧНЫХ ДОЛИН МАЛЫХ ВОДОТОКОВ В АРИДНЫХ ЗОНАХ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ БПЛА (Власкин В.Ф., Носаль А.П.)	446	7.1 DIGITAL MODELING OF MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF RIVER VALLEYS OF SMALL WATERcourses IN ARID ZONES BASED ON UAV DATA (Vlaskin V.F., Nosal A.P.)	446
7.2 ЦИФРОВАЯ ЗРЕЛОСТЬ И РИСКИ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ (Медведева Л.Н.)	453	7.2 DIGITAL MATURITY AND RISKS IN CROP GROWING (Medvedeva L.N.)	453
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	461	INFORMATION ABOUT THE AUTHORS	461

ПОСТАНОВЛЕНИЕ
ПЛЕНУМА ЦК КПСС
27 мая 1966 г.

**О ШИРОКОМ РАЗВИТИИ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ ДЛЯ
ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКИХ И УСТОЙЧИВЫХ УРОЖАЕВ ЗЕРНОВЫХ
И ДРУГИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

Высокоразвитое сельское хозяйство является неперенным условием дальнейшего подъема всей социалистической экономики и неуклонного повышения жизненного уровня советского народа. Поэтому XXIII съезд партии, определяя конкретные пути коммунистического строительства на современном этапе, придавал первостепенное значение ускорению темпов развития сельского хозяйства, его последовательной интенсификации на основе системы экономических и организационных мер, разработанных мартовским и сентябрьским (1965 г.) Пленумами ЦК КПСС.

Всемерное повышение урожайности с каждого гектара земли – основа ускоренного развития сельского хозяйства вообще и производства зерна в особенности.

Пленум считает, что достигнутый уровень развития экономики страны позволяет в этих целях осуществить в комплексе крупные меры как в общегосударственном масштабе, так и в каждом колхозе и совхозе по повышению плодородия почв и культуры земледелия, широкой мелиорации земель.

В зонах, подверженных губительному действию засух, ведущим мероприятием в этом комплексе служит орошение. В нечерноземной зоне, где имеется много переувлажненных земель, почвы бедны питательными веществами и отличаются повышенной кислотностью, на первый план наряду с работами по осушению земель выдвигается известкование и систематическое внесение органических и минеральных удобрений. Во многих зонах страны для успешного ведения сельского хозяйства необходимо широко использовать мероприятия, рекомендуемые наукой и передовым опытом по борьбе с ветровой и водной эрозией почв. Во всех районах страны необходимо осуществить меры по улучшению сенокосов и пастбищ.

Пленум ЦК КПСС отмечает, что во многих колхозах и совхозах еще низка культура земледелия на орошаемых и осушенных землях. Эти земли используются неудовлетворительно. Имеет место низкое качество работ по мелиорации, принижение значения дренажа и проведения мероприятий по уменьшению потерь воды в оросительных системах, большое количество неспланированных площадей, а также неудовлетворительная организация труда и недостаточная материальная заинтересованность работников в достижении высоких и устойчивых урожаев на мелиорированных землях. Допускается большой разрыв между строительными работами

и сельскохозяйственным освоением новых орошаемых и осушенных земель. Недооценивается известкование кислых почв и гипсование солонцов, мало вкостится минеральных и местных удобрений, не проводятся необходимые мероприятия по борьбе с эрозией почв.

В ряде случаев лучшие земли изымаются под застройку производственных и бытовых объектов, в то время, когда можно использовать менее ценные сельскохозяйственные угодья, допускаются излишества при отводе земель для полос отчуждения, хозяйства нередко оставляют без использования значительные площади плодородных земель. Неоправданным является и то, что при строительстве гидростанций, водохранилищ и других объектов не осуществляются должные меры по защите сельскохозяйственных угодий от затопления.

Научные учреждения еще слабо развертывают исследования по мелиорации. Не проводится с достаточной глубиной изучение вопросов, связанных с экономическим обоснованием очередности в осуществлении мелиоративного строительства и необходимых разработок по рациональному использованию осушенных и орошаемых земель. Слабо ведется работа по созданию высокоурожайных и неполегаемых сортов сельскохозяйственных культур на этих землях, медленно разрабатываются конструкции новых мелиоративных машин и совершенно недостаточно внедряются достижения науки и техники, а также опыт передовых хозяйств.

Пленум Центрального Комитета КПСС постановляет:

1. Одобрить мероприятия по широкому развитию мелиорации земель для получения высоких и устойчивых урожаев зерновых и других сельскохозяйственных культур, разработанные Политбюро ЦК КПСС и предусматривающие:

увеличение в течение ближайшего десятилетия площади орошаемых земель на 7–8 млн. га и осушенных земель – на 15–16 млн. га, при этом общая площадь мелиорированных земель в стране возрастет до 37–39 млн. га в 1975 г.;

улучшение мелиоративного состояния всех земель в районах действующих оросительных и осушительных систем, с тем чтобы каждый гектар этих земель давал максимальный выход сельскохозяйственной продукции с высоким качеством и при хороших экономических показателях;

значительное повышение темпов водохозяйственных работ на Северном Кавказе, юге Украины, Молдавии, Казахстане, в низовьях Аму-Дарьи и на Дальнем Востоке, развертывание строительства оросительных систем в Поволжье, создание в этих зонах крупного производства зерна и особенно риса, а также других продуктов сельского хозяйства;

дальнейшее развитие орошения земель в районах Средней Азии и Закавказья;

осуществление известкования всех пахотных земель, лугов и пастбищ с кислыми почвами в нечерноземной полосе;

проведение в течение 1966–1970 гг. работ по коренному улучшению лугов и пастбищ на площади 9 млн. га и обводнения пастбищ на площади 50 млн. га;

осуществление системы мер по борьбе с водной и ветровой эрозией почв. Проведение там, где это необходимо, посадки полезащитных и приовражных лесонасаждений, а также залужения эродированных склонов, строительства инженерных противозрозионных сооружений и облесения песков.

Поручить Политбюро ЦК КПСС и Совету Министров СССР принять соответствующие решения.

Обязать партийные, профсоюзные и комсомольские организации, советские, сельскохозяйственные и водохозяйственные органы, руководителей министерств и ведомств, промышленных предприятий, строительных организаций, колхозов и совхозов принять необходимые меры к безусловному выполнению этих решений.

2. Выполнение намеченной партией программы по повышению плодородия почв и широкой мелиорации земель, планомерному и последовательному осуществлению комплексной механизации, электрификации и химизации сельскохозяйственного производства позволит поднять продуктивность всех его отраслей и повысить материальное благосостояние советского народа.

Задача партийных, советских, сельскохозяйственных и водохозяйственных органов состоит в том, чтобы организовать и возглавить всенародную борьбу за подъем культуры земледелия и повышение продуктивности сельскохозяйственных угодий, за наведение образцового порядка на земле во всех колхозах и совхозах, достижение высоких и устойчивых урожаев на каждом гектаре. Следует оказать помощь колхозам и совхозам в разработке плана конкретных мероприятий по повышению плодородия почв и эффективному использованию каждого гектара сельскохозяйственных угодий.

Пленум считает необходимым установить строгий порядок отвода земельных участков для промышленных, строительных и других надобностей. При сооружении различных объектов нужно в первую очередь использовать худшие или непригодные для сельскохозяйственных целей земли.

Признать необходимым принятие законов об основных началах землепользования и водопользования, об охране сельскохозяйственных угодий и повышении ответственности за их использование.

3. Пленум ЦК КПСС подчеркивает, что при проведении намеченной программы широкого развития мелиоративных работ следует полнее использовать экономические меры, разработанные мартовским и сентябрьским Пленумами Центрального Комитета партии.

Особое значение приобретают вопросы материальной заинтересованности работников, занятых на эксплуатации оросительных и осушительных систем и выращивании высоких и устойчивых урожаев на

мелиорируемых землях. Партийные, советские, сельскохозяйственные и водохозяйственные органы, колхозы и совхозы должны разработать и осуществить меры по улучшению организации, нормирования и оплаты труда работников мелиорированного земледелия.

4. Наряду с дальнейшим укреплением материально-технической базы сельского хозяйства во всех районах страны осуществить конкретные меры по оснащению специализированных организаций, колхозов и совхозов нечерноземной полосы и зоны орошаемого земледелия мелиоративной и землеройной техникой, поставке им необходимого количества минеральных удобрений, химических средств защиты растений, оборудования, строительных и других материалов.

Проведение большой программы по мелиорации земель потребует поставки сельскому хозяйству мощных тракторов, комплекса высокопроизводительной землеройной и строительной техники.

Пленум ЦК КПСС призывает работников промышленности, руководителей промышленных министерств и ведомств все сделать для выполнения и перевыполнения планов по обеспечению колхозов и совхозов, а также водохозяйственных организаций необходимой высококачественной техникой и оборудованием, удобрениями и ядохимикатами, различными материалами и другими товарами производственного назначения.

Пленум предлагает ЦК компартий союзных республик, крайкомам, обкомам, горкомам и райкомам партии, первичным партийным организациям принять необходимые меры к безусловному выполнению промышленными предприятиями и строительными организациями заказов для села.

5. В связи с широким развитием работ по мелиорации Пленум ЦК КПСС обращает внимание Госплана СССР, Министерства сельского хозяйства СССР, Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР, Академии наук СССР, Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук имени В. И. Ленина и соответствующих научно-исследовательских проектных и конструкторских учреждений на необходимость своевременного и правильного решения таких вопросов, как:

обоснование очередности проведения мероприятий по мелиорации, а также наиболее эффективного использования капиталовложений на эти цели;

осуществление мелиоративного строительства на научно-технической и индустриальной основе, в едином комплексе с мерами по хозяйственному освоению земель, не допуская разрыва между завершением строительных работ и сельскохозяйственным использованием их.

6. В осуществлении программы мелиоративных мероприятий по увеличению производства зерна и других продуктов сельского хозяйства важная роль принадлежит науке. Ученые призваны значительно расширить теоретические и прикладные исследования в области мелиорации, поднять их результативность, дать производству обоснованные рекомендации по проведению мелиоративных работ в различных зонах страны и ведению

интенсивного земледелия на орошаемых и осушенных землях, обеспечить выведение высокоурожайных и неполегающих сортов для мелиорированных земель. Инженеры и конструкторы должны усилить работы по созданию новой высокопроизводительной и экономичной землеройной и мелиоративной техники.

Поручить Министерству сельского хозяйства СССР, Министерству мелиорации и водного хозяйства СССР, Госплану СССР, Академии наук СССР, Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук имени В. И. Ленина совместно с советами министров союзных республик в 1966–1968 гг. разработать экономически обоснованные предложения о направлениях дальнейшего развития сельского хозяйства по природным зонам страны на ближайшие 10–15 лет и представить их до 1 января 1969 г. в ЦК КПСС и Совет Министров СССР.

7. Обязать ЦК компартий союзных республик, крайкомы и обкомы, горкомы и райкомы партии, первичные партийные организации широко разъяснить колхозникам, работникам совхозов, специалистам сельского хозяйства, всему советскому народу решение настоящего Пленума ЦК КПСС, провести необходимую организаторскую и политическую работу по его выполнению.

Пленум ЦК КПСС выражает твердую уверенность в том, что осуществление разработанных коренных мер по повышению плодородия почв, программы широкой мелиорации земель явится новым крупным шагом по дальнейшему развитию производительных сил, укреплению экономики колхозов и совхозов, по созданию в стране устойчивого и высокоразвитого производства зерна и других продуктов сельского хозяйства.

ПРИВЕТСТВИЯ

Приветствую участников и гостей Международного симпозиума!

60-лет назад в Советском Союзе была принята долговременная комплексная Программа «О широком развитии мелиорации земель для получения высоких и устойчивых урожаев зерновых и других сельскохозяйственных культур». В те годы это дало мощный импульс развитию инфраструктуры мелиоративно-водохозяйственного комплекса и сельских территорий, повышению эффективности сельского хозяйства в Российской Федерации, Белоруссии, Закавказье и Средней Азии. На миллионах гектаров сельскохозяйственных земель создавались новые оросительные и осушительные системы, закладывался мощный фундамент продовольственной независимости большой страны.

Комплексная мелиорация и сегодня является решающим фактором стабильности сельского хозяйства, его устойчивости к изменениям климата, преодоления неблагоприятных метеорологических явлений, способствует сохранению земельного потенциала, предотвращению развития опустынивания земель, заболачивания и подтопления территорий. Благодаря самоотверженному труду ученых и специалистов мелиорация земель является основой устойчивого социально-экономического развития России и стран СНГ.

Искренне благодарю всех, кто вносит вклад в развитие мелиорации, – от первопроходцев эпохи масштабных строек до современных исследователей, создающих технологии будущего. Особая признательность ветеранам, передающим бесценные знания молодому поколению.

Спустя шесть десятилетий идеи того времени обретают новое звучание. Сегодня на службе мелиорации современные методы цифровизации и искусственного интеллекта, инновационные технологии в гидротехническом строительстве, водном хозяйстве, растениеводстве.

Благодаря самоотверженному труду ученых и специалистов, мелиорация земель является основой устойчивого социально-экономического развития России и стран СНГ.

Желаю всем участникам столь представительного Форума новых научных и практических успехов в решении глобальных экологических и социально-экономических проблем, в дальнейшем научно-технологическом развитии страны!

Президент Российской
Академии наук, академик РАН

Г.Я. Красников

Уважаемые товарищи, друзья, коллеги!

60 лет назад Пленум Центрального Комитета КПСС принял историческое решение - утвердил Постановление ЦК КПСС от 27 мая 1966 года «О широком развитии мелиорации земель для получения высоких и устойчивых урожаев зерновых и других сельскохозяйственных культур», которое оказало долгосрочное положительное влияние на социально-экономическое развитие страны, определив мелиорацию как один из ключевых факторов в повышении производительности сельского хозяйства. Благодаря программе мелиорации освоены новые земельные площади, механизация и автоматизация полива, а также производительность труда вышли на новый уровень, обеспечив стабильные и высокие урожаи зерновых, овощей, кормов и другой жизненно важной сельхозпродукции и сырья. В результате мелиоративных мероприятий страна заняла лидирующие позиции на мировом рынке зерна и обеспечила себя продовольствием.

Выражаю слова искренней благодарности ветеранам-гидромелиораторам, ученым и специалистам, которые внесли неоценимый вклад в реализацию стратегически важной программы, за ваш профессионализм и высочайшее мастерство. Героический и благородный труд каждого из вас, посвятившего мелиорации годы жизни, опыт, знания и энергию, заслуживает вечной памяти поколений и глубокой народной признательности.

Современные вызовы в агропромышленном комплексе неразрывно связаны с рациональным использованием земельных ресурсов и сохранением экологии. Мелиорация, как одно из приоритетных направлений государственной аграрной политики играет ключевую роль в этом процессе, создавая современную производственную и социальную инфраструктуру сельских территорий, увеличивая объемы сельскохозяйственного производства и, что самое главное, повышает уровень качества жизни наших граждан.

Повышение эффективности использования мелиоративных земель страны - это государственная стратегическая задача, которая напрямую связана с указом Президента России о необходимости увеличить производство сельхозпродукции к 2030 году на 25%, и направленная на восстановление и повышение плодородия земель сельскохозяйственного назначения, предотвращение сокращения их площадей и рациональное использование.

Желаю в год 60-летия принятия исторического решения Пленума ЦК КПСС всем трудовым коллективам, ученым и специалистам мелиоративного комплекса плодотворной работы и неиссякаемой энергии в деле развития мелиорации и обеспечения продовольственной независимости России!

Председатель Комитета
Государственной Думы по аграрным вопросам
академик РАН

В.И. Кашин

Уважаемые коллеги, дорогие участники симпозиума!

Прежде всего, хочу искренне поблагодарить организаторов – Российскую академию наук, Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации, Министерство науки и высшего образования – и, конечно, всех участников за ту серьёзную и глубокую работу, которая сегодня ведётся на вашей площадке.

Вы сегодня обсуждаете вопросы, которые уже выходят далеко за рамки науки или отрасли. Это вопросы будущего наших территорий. Особенно это чувствуется на примере засушливых регионов, таких как Калмыкия, Прикаспий, юг страны. Там опустынивание – это уже не теория, это реальность, которая влияет и на сельское хозяйство, и на жизнь людей. Очень важно, что вы поднимаете тему мелиорации не узко, а системно – через воду, почву, климат, технологии. Потому что именно мелиорация сегодня становится ключевым инструментом, который может удержать эти территории от дальнейшей деградации.

Отдельно хочу отметить научные подходы, которые формируются под руководством таких уважаемых коллег, как Виктор Александрович Шевченко, Николай Николаевич Дубенок, Эльвира Батыревна Дедова, Константин Николаевич Кулик, Виктор Николаевич Хлыстун и других ведущих учёных. Это действительно сильная научная база, на которую можно и нужно опираться.

При этом хочу сказать честно: сегодня мы уже видим, что одних научных решений недостаточно. Есть разрыв между наработками науки и тем, как это реализуется на земле и в системе управления. И наша задача – этот разрыв убрать. В Совете Федерации мы сейчас как раз подходим к этой теме с практической стороны – как выстроить системную государственную политику по восстановлению деградированных земель и предотвращению опустынивания. И здесь я вижу большую возможность для совместной работы.

Со своей стороны, готов подключаться к этой теме, выстраивать взаимодействие с научным сообществом и вместе искать решения, которые будут работать не только в докладах, но и в реальной жизни на территориях. Уверен, что тот диалог, который складывается на вашей площадке, может перерасти в конкретные шаги уже на уровне государственных решений. Спасибо вам за эту работу. Она действительно важная. Надеюсь на дальнейшее сотрудничество.

Сенатор Российской Федерации,
член Комитета Совета Федерации
по аграрно-продовольственной политике
и природопользованию

Б.Б. Хачиров

РАЗВИТИЕ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ - БУДУЩЕЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИИ

В этом году исполняется 60 лет майскому Пленуму ЦК КПСС (1966 г.), на котором была принята к реализации долговременная Программа «О широком развитии мелиорации земель для получения высоких и устойчивых урожаев зерновых и других сельскохозяйственных культур», которая открыла важнейший исторический этап в развитии мелиорации земель в СССР.

В Постановлении Пленума подчеркивалось, что необходимость в широком развитии мелиорации определяется сложными природно-климатическими условиями, в которых ведется сельскохозяйственное производство в нашей стране.

С одной стороны, более половины всей используемой пашни находится в засушливых и полузасушливых районах, где посевы систематически подвергаются губительному действию засух и без орошения земледелие практически невозможно.

С другой стороны, в районах, где сосредоточено более одной трети пахотных земель, охватывающих только в Российской Федерации свыше 30 областей и краев, сельскохозяйственное производство осуществляется в условиях избыточного увлажнения. По природно-климатическим условиям, зона избыточного увлажнения является наиболее благоприятной для получения устойчивых, а при соответствующем уровне культуры земледелия, высоких урожаев зерновых, картофеля, технических культур и кормов для животноводства. Однако, как указывалось в Постановлении, отсутствие должного внимания к развитию сельского хозяйства в Нечерноземье привело к тому, что в значительной части районов сельское хозяйство ведется на крайне низком уровне.

Кроме того, большие площади пахотнопригодных земель нуждаются в химической мелиорации, прежде всего в известковании кислых почв, а также в расчистке от камней, мелколесья и кустарника, в проведении планировки полей и прочих мероприятий, направленных на повышение плодородия земель и на улучшение природных условий для ведения сельскохозяйственного производства.

Программа мелиорации земель ставила задачу уже в ближайшем десятилетии в значительной степени смягчить удары стихий, а в перспективе полностью устранить зависимость сельского хозяйства страны от капризов климата.

Для реализации Программы мелиорации и повышения продуктивности земель 2 октября 1965 год было создано союзно-республиканское Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР, наделенное широкими полномочиями по проведению единой технической политики в области мелиорации и водного хозяйства, что должно было способствовать осуществлению широкомасштабной программы развития мелиорации земель, как важнейшей общегосударственной задачи. В короткие сроки были созданы производственная база, структурные подразделения по проектированию, строительству, разработке технологий, производству мелиоративной техники и железобетонных конструкций.

Путем обследования территорий был установлен мелиоративный фонд, проведены исследования земельных ресурсов для производства мелиоративных работ.

К реализации программы мелиорации земель в стране, наряду с Минводхозом и Минсельхозом СССР, плановыми органами, были привлечены многие министерства и ведомства различных отраслей народного хозяйства.

В соответствии с новой технической политикой, в области мелиорации земель укреплялась и развивалась сеть специализированных образовательных, научно-исследовательских и проектных учреждений. Был существенно увеличен прием студентов в Вузы, готовящие инженеров-механиков с мелиоративной специализацией, а также специалистов рабочих профессий, мелиоративного профиля.

Решения майского (1966 г.) пленума ЦК КПСС создали необходимые условия для развития мелиоративной науки. Уже в 1966 году были открыты ВНИИ механизации и техники полива (ныне НПО Радуга), ВолжНИИГиМ, Смоленская и Тверская опытно-мелиоративные станции (ОМС), а в 1967 году – ВНИИ орошаемого земледелия (г. Волгоград) и Брянская ОМС. Были созданы УралНИИВХ (ныне РосНИИВХ) в г. Свердловске (ныне Екатеринбург), Западно-Сибирский филиал ВНИИГиМ в г. Тюмени, ДальНИИГиМ в г. Владивостоке с Хабаровским филиалом, СибНИИГиМ в г. Красноярске, Бурятская ОМС в г. Улан-Удэ.

Организованы Сахалинский комплексный отдел, Амурский отдел (в г. Благовещенске), научные подразделения в г. Магадане и Анадыре (Чукотка) и т.д. Одновременно укреплялся научный потенциал союзных республик. Всего в системе Минводхоза СССР работало 19 научно-исследовательских институтов гидротехники и мелиорации, созданных почти во всех союзных республиках.

Программа мелиорации приобрела поистине общегосударственное значение и имела всенародный характер. Развернутые в стране работы по мелиорации земель по масштабам не имели себе равных в мире.

Наряду с дальнейшим развитием орошения в Центральной Азии и Закавказье, планировалось создание новых районов орошаемого земледелия в Поволжье, на Северном Кавказе, юге Украины, в Молдавии, также планировалось широкое развитие осушения земель в Нечерноземье, на Дальнем Востоке, в Белорусском Полесье и в Прибалтийских республиках.

Работам по мелиорации земель придавался целенаправленный национальный характер, благодаря орошаемому земледелию ставилась задача значительно увеличить производство зерна, кормов, овощей, хлопчатника, решить проблему производства риса в стране и тем самым устранить зависимость СССР от других стран в этой важной продовольственной культуре.

Предусматривалось осуществление комплексной механизации, электрификации и химизации сельскохозяйственного производства, создание необходимой базы и освоение индустриальных методов строительства оросительных и осушительных систем, проведение комплекса мер по борьбе с водной и ветровой эрозией почв.

Только за первые десять лет (1966-1975 гг.), было введено в действие более 13 млн га орошаемых и осушаемых земель, в результате их общая площадь по стране возросла до 25 млн га. Значительно увеличилось производство зерна, овощей, хлопчатника, резко возросло производство кормов на мелиорируемых землях. За этот период выполнены крупные мероприятия по обеспечению страны рисом отечественного производства за счет ввода новых орошаемых земель, прежде всего на Кубани, в ряде южных областей Украины, в Казахстане, Узбекистане и на Дальнем Востоке. Шло строительство оросительных систем в Сибири, на Украине, в Поволжье и Закавказье.

После майского (1966 г.) Пленума с учётом современных технических достижений построены первая очередь Большого Ставропольского канала, Левокумская, Закумско-Садовая, Архангельская оросительные системы, первая очередь Егорлыкской системы и системы междуречья Кубань-Егорлык. Произошли глубокие качественные изменения в строительстве каналов и водоводов. Широкое распространение получило строительство закрытых оросительных систем, что исключало потерю воды при транспортировке к полю.

Значительные средства были направлены в республики СССР с целью быстрого увеличения стратегической сельскохозяйственной продукции: пшеницы, хлопчатника, риса. В районах старого орошения – республиках Центральной Азии, водохозяйственное строительство было подчинено решению двух главных задач – улучшению качества земель существующего орошения и орошению новых, пустынных массивов.

Важное значение придавалось повышению водообеспеченности земель. С этой целью планировалось возвести ряд водохранилищ и гидроузлов на важнейших водных артериях Центральной Азии – реках Аму-Дарья и Сыр-Дарья и их притоках. Намечено было построить Чардаринское водохранилище, Чарвакское, Хауз-Ханское, Нурекское, Токтогульское, а также гидроузлы: Тахиаташский, Кызыл-Аякский. Планировалось строительство грандиозных комплексов и социальной инфраструктуры, обеспечивающих освоение и заселение Голодной и Каршинской степей в Узбекистане, освоение пустынных земель Туркмении: Тедженский оазис и Хаузханский массив.

Проектировались сложные инженерные решения по оздоровлению сильно засоленных земель Кура-Араксинской низменности в Азербайджане, уникальные ирригационные комплексы в Крыму и в Таврии, степном районе Украины. Был запланирован высокоэффективный аграрный комплекс на мелиорируемых землях в Белорусском Полесье.

Министерство мелиорации и водного хозяйства комплексно подходило к освоению новых земель: строились мелиоративные поселки, создавалась инфраструктура, обеспечивалось питьевое и хозяйственное водоснабжение, выполнялось перемещение сельского населения на вновь освоенные территории. Мелиорированные земли окультуривались и передавались сельхозпроизводителям только после достижения на них проектной урожайности. Все внимание одновременно было направлено на создание и развитие сельских поселений и улучшение социальных условий для сельского населения, повышения их уровня жизни.

В выполнении задач по широкой мелиорации земель и интенсификации сельскохозяйственного производства особая роль отводилась науке: создавались необходимые условия для расширения и углубления теоретических и прикладных исследований в области мелиорации, селекции, экономики и по другим смежным направлениям.

Масштабные экспериментальные исследования процессов, происходящих при мелиорации земель в Средней Азии, Поволжье, Нечерноземной зоне, на Северном Кавказе и в Западной Сибири позволили

ученым выполнить ряд крупных теоретических и методологических обобщений по рациональному природопользованию при мелиорации земель и в водохозяйственном строительстве, что во многом определило государственную политику в области мелиорации сельскохозяйственных земель на перспективу.

В процессе реализации программы комплексной мелиорации перед наукой и производством ставились все новые и новые задачи. Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова (ВНИИГиМ) стал головной организацией по мелиоративной науке, за которым были закреплены основные функции по решению зональных проблем в регионах.

Учеными института были разработаны перспективные конструкции водозаборных и водорегулирующих сооружений, технологии регулирования рек и борьбы с наносами, усовершенствованы методы возведения сооружений средствами гидромелиораций, оптимизирован водоучет.

Практическое применение научных разработок ученых осуществлялось при прокладке Каракумского, Каршинского и Большого Ставропольского каналов, при строительстве Краснодарского, Андижанского и Токтогульского водохранилищ, при возведении плотин Капетдагского и Зеидского водохранилищ.

Были разработаны новые технологии строительства и эксплуатации оросительных и осушительных систем с применением бетоноукладчиков, лазерных систем; созданы машины для узкотраншейного и бестраншейного строительства дренажа, широко внедренного на орошаемых землях Голодной степи, созданы средства механизации для прокладки дрен из пластмассовых труб с синтетическим и комбинированным фильтрами, новые технологии производства культуртехнических работ.

В условиях Центральной Азии, для предотвращения вторичного засоления почв и создания требуемых мелиоративных режимов на орошаемых массивах сельскохозяйственных культур, были разработаны технологии освоения засоленных земель капитальными промывками, с помощью горизонтального и вертикального дренажа.

В Поволжье разрабатывались комплексные мероприятия по освоению осолонцованных почв. Учеными института были разработаны рекомендации по способам орошения и технике полива, адаптированные к различным природным условиям.

Одним из важнейших достижений этого направления стало создание специалистами ВНИИГиМ дождевальная машина ДДА-100М. Эта машина

до сих пор эффективно используется на полях России, подтверждая высокий уровень отечественной инженерной мысли. Впоследствии отечественная промышленность последовательно наращивала свой потенциал в сфере дождевальной техники. Ученые-мелиораторы, на смену импортным аналогам, разработали отечественные дождевальные машины (ДМ) «Фрегат», «Волжанка», «Днепр». Настоящим прорывом стала ДМ «Кубань», которая создавала 800-метровую завесу дождя и обеспечивала высокое качество полива в автоматизированном режиме, что вывело орошение на новый уровень эффективности.

Были развернуты крупномасштабные работы по мелиорации земель на территории 29 областей и социальному преобразованию сёл в Нечерноземной зоне России. Приоритетное направление комплексных мелиораций в этой зоне – осушение переувлажненных земель. Учеными ВНИИГиМ были разработаны методы проектирования осушительных систем, методики расчета и новые конструкции закрытого осушительного дренажа из керамических и пластмассовых труб с использованием современных материалов из геотекстиля.

Значительным достижением науки стала разработка конструкций осушительных систем польдерного типа, включая дамбы, насосные станции и конструкции осушительно-увлажнительных систем. На тяжелых, переувлажненных почвах и грунтах разрабатывались новые агромелиоративные приемы и технические средства для их осуществления: глубокое рыхление почвы, кротование, щелевание и пр. Совершенствовалась теория расчета осушительного дренажа.

В марте 1974 г. вышло постановление Совета Министров СССР «О мерах по дальнейшему развитию сельского хозяйства Нечерноземной зоны РСФСР», в котором отмечалось, что во многих хозяйствах региона укрепились экономика колхозов и совхозов, повысилась оплата труда работников сельского хозяйства, но темпы роста продукции АПК продолжают оставаться невысокими.

Указанное постановление имело огромное политическое и социально-экономическое значение. В нём были учтены не только интересы сельского хозяйства, но и связанных с ним других отраслей промышленности, социальные и демографические аспекты. Речь шла о комплексной программе всестороннего развития этой огромной зоны России, обеспечения высоких темпов роста сельскохозяйственного производства на основе его интенсификации, широкой мелиорации земель, комплексной механизации и химизации, использования достижений науки, техники и передового опыта.

Было предусмотрено к 1990 году обеспечить увеличение производства основных сельскохозяйственных продуктов в 2-2,5 раза, по сравнению с достигнутыми объемами.

Решение этих важнейших социально-экономических задач позволило бы превратить Нечерноземную зону РСФСР в развитый регион, создать условия для притока населения и рабочей силы. Но этим планам не суждено было сбыться. Программы не были выполнены, они были прерваны в ходе начавшихся экономических реформ после распада СССР.

За годы воплощения в жизнь решений Майского (1966 г.) Пленума ЦК КПСС была проделана огромная работа, плодами которой и сегодня пользуется население большинства регионов нашей страны и стран ближнего зарубежья. Созданные за эти годы системы и сооружения, тысячи гектаров орошаемых и осушаемых земель до сих пор являются неотъемлемой частью сельскохозяйственного потенциала России и независимых государств, образовавшихся на территории бывшего Союза.

Интеллектуальной основой и изначальной движущей силой этих масштабных работ явилось творчество коллективов научных и проектных институтов, которые по результатам теоретических исследований и многолетнего производственного опыта разработали эффективные технические решения по обустройству мелиорированных земель.

Подводя итоги проведенных масштабных мелиоративных преобразований, начало которым положили решения майского (1966 г.) Пленума ЦК КПСС, можно с уверенностью утверждать, что положительные результаты, достигнутые к настоящему времени в развитии сельскохозяйственного производства, в значительной мере обязаны мелиорированным землям.

Сегодня перед нашей страной стоят колоссальные вызовы. Это комплекс внешних и внутренних факторов, включающих геополитическую и экономическую нестабильность, изменения климата и природные катаклизмы, деградация земель, проблемы экологии, демографии, «социальное опустынивание» сельских территорий и т.д.

Существенная роль в решении задач по обеспечению продовольственной безопасности, в условиях имеющихся вызовов и рисков, отводится науке, поскольку сельскохозяйственное производство становится всё более наукоёмким и высокотехнологичным.

Сложно переоценить важность проведения мелиоративных мероприятий, направленных на улучшение почвенных, агроклиматических и гидрологических условий, учитывая всё разнообразие и сложность

природных условий нашей страны, неблагоприятные климатические изменения и аномальные погодные явления.

В этих условиях, мелиорация земель является одним из основных приоритетов в сфере развития производственного потенциала АПК и становится главным фактором обеспечения гарантированных объёмов сельскохозяйственной продукции в неблагоприятные годы за счёт снижения рисков, связанных с потерями урожая из-за нестабильности погодных условий. Решению этих вопросов в современных условиях и посвящены усилия ученых-мелиораторов, опирающихся на опыт ветеранов и энергию молодых исследователей.

Директор ФГБНУ «Федеральный научный центр
гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова»
академик РАН

В.А. Шевченко

Глава 1 *ИСТОРИЯ, ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ*

1.1 О СТРАТЕГИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЯХ ЗЕМЕЛЬНОЙ ПОЛИТИКИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Земельная политика государства является краеугольным камнем для построения системы управления земельными ресурсами и организации их рационального использования и сохранения для будущих поколений. Она должна чётко определять национальные интересы, современные вызовы и риски, цели, задачи и механизмы влияния государства на развитие земельных отношений, приоритеты, показатели социальной, экологической и экономической эффективности её реализации. В истории постсоветской России она поэтапно определялась такими государственными документами, как закон «О земельной реформе», принятый в октябре 1990 года, ряд указов Президента страны и постановлений Правительства о проведении земельной и аграрной реформ, рядом положений принятого в 2001 году Земельного кодекса Российской Федерации, федеральным законом «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения и другими нормативными актами, которые определили содержание земельных преобразований, новые формы хозяйственной деятельности на земле, развитие системы учёта и регистрации прав и сделок с земельными участками и др. Однако после завершения первого этапа реформ было необходимо определить её новые, нацеленные на перспективу, направления, но до настоящего времени это не сделано, так как сегодня нет стратегического документа, дающего ответы на все вопросы, стоящие перед государством и обществом в сфере земельных отношений и организации использования земельного потенциала страны.

Можно возразить этой позиции, сославшись на утверждённые распоряжениями Правительства РФ в марте 2012 года «Основы государственной политики использования земельного фонда Российской Федерации на 2012-2020 годы», но этот документ носил преимущественно декларативный характер, был ориентирован в большей степени на организацию администрирования в сфере земельных отношений, не определяя стратегию их дальнейшего развития. К тому же период его действия закончился в 2020 году.

Реально сегодня перед органами государственного управления, да и всем населением стоит ряд вопросов, на которые в условиях неопределённости современной земельной политики нет внятных ответов. Прежде всего, в их числе следует назвать:

1. Отвечает ли интересам государства и общества сложившееся соотношение форм собственности на землю, и в каких направлениях оно будет изменяться в среднесрочной перспективе? Следует отметить, что в настоящее время в разных формах частной собственности находится менее 34% земель сельскохозяйственного назначения, остальные отнесены к государственной и муниципальной собственности, при этом значительная их часть не поставлена на кадастровый учёт и является, по сути, бесхозной и не вовлечённой в активный хозяйственный оборот.

2. Какие формы хозяйствования на земле будут приоритетными, намерено ли государство сдерживать рост сверхкрупных землевладений (латифундий) и будет ли оно поддерживать развитие малого и среднего агробизнеса и личных подсобных хозяйств сельского населения. Вопрос правомерен потому, что хищническое поглощение крупнейшими агрохолдингами создаёт реальную угрозу разрушения конкурентной среды и формирования сначала региональных, а затем и федеральных монополий, разрушающих экономику.

3. Как будет развиваться система управления земельными ресурсами страны? Сегодня она совершенно аморфна, её функции разбросаны между множеством органов государственного управления при отсутствии центра координации деятельности и необходимой ответственности за состояние, организацию рационального использования и охраны земли, как главного национального богатства России.

4. Какие меры государство намерено предпринимать для защиты земель от деградации? Развитие процессов опустынивания, водной и ветровой эрозии, закисления почв, засоления угодий приобретают крайне опасное влияние на состояние земельного фонда, угрожая ускорением разрушения его потенциала, и пока ни государство, ни бизнес не предпринимают необходимых мер по противодействию этим процессам.

5. Как государство намерено стимулировать рациональное использование земель исходя из разумного соотношения социальных, экологических и экономических интересов страны? Вопрос требует ответа потому что сегодня зачастую стремление к получению высокой прибыли порождает социальную несправедливость в распределении ресурсов, губительные экологические последствия, снижение экономического потенциала земель в ближайшей и среднесрочной перспективе.

6. Что следует предпринимать для остановки процессов опустынивания сельских территорий? К сожалению, ни принятая в декабре 2025 года Стратегия пространственного развития страны, ни действующая

Государственная программа развития сельских территорий не обеспечивают сохранение сельских поселений (по данным ВИАПИ их число сокращается более чем на 500 единиц ежегодно), при этом забрасываются огромные площади вполне пригодных для эффективного использования земельных участков. При таких темпах страна в относительно короткое время утратит значительную часть своего производственного и социального потенциала.

В 2024 году Контрольным управлением Администрации Президента с участием учёных, в том числе автора настоящей статьи, была подготовлена аналитическая записка о состоянии и организации использования земельного фонда страны, на основании которой Президентом Российской Федерации было дано поручение Правительству разработать стратегию государственной земельной политики государства. Группой академиков РАН под руководством автора статьи был подготовлен проект «Доктрины земельной политики Российской Федерации на период до 2036 года», который был в основном одобрен на заседании президиума РАН 1 июля 2025 года и направлен для рассмотрения в Правительство. В настоящее время Росреестр ведёт подготовку стратегического документа, в содержании которого должны найти отражение наши предложения.

Полагаем, что этот документ в своём содержании должен отразить:

- определение его государственного статуса;
- основные используемые понятия;
- правовую основу документа;
- направления его применения;
- национальные интересы в данной сфере;
- риски и угрозы в сфере земельных отношений и организации использования и охраны земель;
- стратегические цели и задачи земельной политики;
- планируемые показатели эффективности реализации стратегии;
- стратегические направления земельной политики;
- организационные основы и механизмы реализации.

В общих положениях документа необходимо отметить, что стратегия земельной политики является документом перспективного планирования, определяющим основные цели, приоритетные направления и содержание государственной политики в сфере земельных отношений и организации рационального использования и охраны земельного потенциала Российской Федерации. В её содержании развиваются положения Конституции РФ, действующего законодательства и принятых ранее Указов Президента и Постановлений Правительства в данной сфере. Она является основой для

дальнейшего совершенствования земельного законодательства и реализации федеральных, отраслевых и региональных программ развития землепользования.

В перечне основных интересов государства целесообразно отразить:

- эффективное использование, сохранение и воспроизводство природного и экономического потенциала земельных ресурсов;
- обеспечение потребности в земельных ресурсах всех отраслей экономики при соблюдении приоритета сельскохозяйственного землепользования;
- увеличение объёмов агропромышленного производства с целью обеспечения продовольственной безопасности страны;
- воссоздание институтов организации эффективного использования и охраны земельных ресурсов (прогнозирования и планирования, землеустройства, мониторинга);
- формирование системы эффективного противодействия развитию процессов деградации земель;
- восстановление мелиоративных систем и расширение площади мелиорированных земель;
- формирование оптимального соотношения форм собственности на землю и различных форм хозяйствования на ней.

Определяя содержание перспективной земельной политики необходимо учитывать риск и угрозы, которые реально и достаточно жёстко могут повлиять на организацию рационального использования и сохранение земельного потенциала. К их числу, прежде всего, относятся глобальное и локальные изменение климата, загрязнение земель атмосферными выбросами, бытовыми и промышленными отходами; использование технологий земледелия, ухудшающих состояние земель; развитие процессов деградации земель в результате водной и ветровой эрозии, закисления почв, их иссушения и переувлажнения, опустынивания значительных территорий в районах юга и юго-востока страны.

Негативное влияние этих и других рисков и угроз может быть усилено недостатками, порождаемыми несовершенством системы управления земельными ресурсами. К ним следует отнести:

- информационную неопределённость динамики состояния земельных ресурсов;
- рост числа и площади сверхкрупных землевладений (латифундий);

- отсутствие должной координации деятельности органов государственного и муниципального управления, участвующих в процессе управления земельными и другими природными ресурсами;
- слабость или отсутствие ряда институтов системы управления;
- снижение численности сельского населения и социальное опустынивание сельских территорий;
- высокий уровень криминализации сферы оборота земельных активов и др.

Очень важно точно определить стратегические цели земельной политики в предстоящем периоде и корректно установить перечень основных задач, которые предстоит решить для их достижения. Полагаем, что: *Генеральной целью земельной политики государства является обеспечение рационального использования, охраны и воспроизводства земельных ресурсов страны, как её главного национального богатства, которое должно быть передано будущим поколениям без утраты его потенциала.*

На предстоящий среднесрочный период её следует конкретизировать следующими целевыми установками:

- а) завершение земельных преобразований, формирование системы землепользования, соответствующей потребностям государства и общества и отвечающей современным вызовам;
- б) формирование эффективной системы государственного управления земельными ресурсами страны;
- в) обеспечение охраны земельных ресурсов от деградации и бесхозяйственного использования.

Названные целевые установки определяют основные направления земельной политики на предстоящий среднесрочный период. К ним следует отнести:

1. Совершенствование нормативно-правовой базы, регулирования земельных отношений и организации рационального использования земель.
2. Оптимизация структуры собственности на землю и соотношения форм хозяйствования на ней.
3. Создание и развитие институтов системы управления земельными ресурсами.
4. Развитие системы информационного обеспечения и цифровых технологий управления земельными ресурсами.
5. Разработка и реализация Генеральной схемы использования и охраны земельных ресурсов страны и схем землеустройства субъектов РФ и муниципальных образований.

6. Создание социально-экономических условий для рационального использования земель всех категорий.

7. Повышение эффективности научного и кадрового обеспечения системы управления земельными ресурсами.

8. Декриминализация сферы земельных отношений.

В рамках реализации первого направления предстоит рассмотреть вопрос о подготовке новой редакции закона «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения». Его разработка и принятие были обусловлены острой дискуссией в Государственной думе при рассмотрении проекта Земельного кодекса. Неприятие значительной частью депутатов возможности купли – продажи сельскохозяйственных земель обусловило вынесение этой темы в отдельный закон, в который за период его действия внесено несколько десятков изменений и дополнений. Большой ряд его позиций к настоящему времени утратил актуальность, он стал весьма громоздким и неудобным в правоприменительной практике. Полагаем, что вместо него следует разработать раздел в Земельном кодексе под названием «Особенности оборота земель сельскохозяйственного назначения» в котором должны быть отражены современные подходы к регулированию земельного рынка, в том числе определены меры по сдерживанию развития латифундий и стимулированию более долгосрочной аренды земельных участков. Кроме того, необходимо в короткие сроки завершить разработку новой редакции закона «О землеустройстве», внести в Налоговый кодекс нормы, усиливающие стимулирующую роль земельного налога в организации рационального использования земель и сохранения их плодородия.

Реализуя второе направление необходимо предметно и объективно оценить сложившееся соотношение различных форм собственности на землю и чётко определить видение государства на перспективу. Экспертные оценки свидетельствуют, что показатели эффективности использования и сохранения плодородия сельскохозяйственных земель, находящихся в частной собственности у структур агробизнеса, существенно выше, чем эти же показатели для земель в государственной и муниципальной собственности, предоставляемых в аренду преимущественно на короткий срок. Это не определяет необходимость приватизации всех земель сельскохозяйственного назначения, но ставит вопрос о целесообразности постепенной трансформации отношений собственности путём снятия необоснованных барьеров и формирования условий для более хозяйственного, рачительного и бережливого отношения к земле, которое в наибольшей

степени проявляется у структур малого и среднего бизнеса, обладающих земельными участками на праве собственности.

Третье направление предусматривает восстановление институтов, которые в советский период обеспечивали эффективное влияние государства на организацию землепользования. Прежде всего, речь идёт о землеустройстве, как системе целенаправленных действий по обеспечению разумного распределения, рационального использования и сохранения земельных ресурсов на основе их предметного изучения, прогнозирования и планирования, территориального зонирования, внутрихозяйственного землеустройства, рабочего проектирования улучшений земельных участков, сопровождению сделок на земельном рынке. Этот институт весьма успешно функционировал в советский период и в годы первого этапа земельной реформы, но по воле радикальных либералов в экономических ведомствах, утверждавших в конце 90-х годов, что землеустройство – это рудимент социализма, не нужный в условиях рынка, он был почти полностью ликвидирован. В результате государство лишилось мощного инструмента регулирования земельных отношений и одного из важнейших механизмов технологического развития агропромышленного производства. Без землеустройства не могут активно внедряться прогрессивные почвозащитные системы земледелия, ускоряются процессы ветровой и водной эрозии, идёт закисление или засоление почв, развивается физическое и социальное опустынивание территорий. Не менее важными являются восстановление и развитие института мониторинга состояния земель и связанных с ними других объектов природы и хозяйственной деятельности, совершенствование государственного надзора и контроля за использованием земель, обеспечение объективности их оценки и др.

Четвёртое направление в последние годы получило ускоренное развитие в части применения цифровых технологий в кадастре объектов недвижимости, в регистрации прав и сделок, в сборе и обработке информации о земельных участках, в оцифровке материалов, созданных в прежние годы, в том числе планово-картографических данных советского периода. Но это не решило главную проблему – отсутствие актуальных, достаточно полных и достоверных сведений о состоянии земельного фонда страны с отражением в них не только количественных, но и качественных характеристик земельных ресурсов страны. Полагаем, что снять эту проблему возможно лишь проведением сплошной инвентаризации всех земельных участков с одновременной их постановкой на кадастровый учёт и регистрацией прав на них. Последняя инвентаризация была проведена в начале 90-х годов прошлого

столетия, её данные или не сохранились, или безнадёжно устарели. Весьма болезненно отражается на практике управления земельными ресурсами отсутствие актуальной планово-картографической информации. В большинстве случаев приходится пользоваться материалами, созданными ВИСХАГИ ещё в прошлом столетии. Большой проблемой является отсутствие публичной информации о рыночном обороте земельных участков, что не позволяет легитимно участвовать в нём потенциальным собственникам и пользователям земельными активами.

Ликвидация института прогнозирования и перспективного планирования использования и охраны земель создала проблему «слепоты» - отсутствия предвидения развития событий и явлений в сфере земельных отношений и организации рационального землепользования. Практика разработки Генеральных схем использования земель СССР и союзных республик, схем землеустройства краёв, областей и районов, полностью оправдавшая себя в советский период, была перечёркнута, а ничего нового до сих пор не введено, хотя в современных условиях обоснованное предвидение и индикативное планирование, как считает большинство учёных и специалистов различных сфер экономики, абсолютно необходимо. Вряд ли есть необходимость изобретать для этого новые инструменты, полезнее использовать ещё не вполне растроченный опыт и вернуться в рамках пятого направления к разработке названных документов.

Шестое направление несомненно является важнейшим для достижения целей социально-экономического развития страны. В качестве основных инструментов его реализации следует назвать:

- разработку и реализацию государственных и отраслевых программ освоения неиспользуемых земель на основе широкого фронта работ по восстановлению и развитию мелиоративных систем, восстановлению полезащитных лесных полос, рекультивации нарушенных земель, борьбе с опустыниванием, водной и ветровой эрозией и др.;

- создание экономических и морально-психологических стимулов для формирования интересов правообладателей земельных участков к их улучшению и рациональному использованию;

- государственное субсидирование и льготное кредитование проектов, связанных с повышением плодородия и сохранением потенциала сельскохозяйственных земель;

- обеспечение защиты законных прав на землю всех категорий пользователей земельными активами, в особой степени – структур малого и среднего агробизнеса;

- возрождение традиционных отраслей аграрной экономики, таких как производство и первичная переработка лубяных культур, развитие мясного и молочного скотоводства на основе использования естественных пастбищ и сенокосов и др.;
- создание новых рабочих мест на сельских территориях на базе развития местных народных промыслов, агротуризма, сферы услуг и др.;
- развитие социальной и инженерной инфраструктуры сельских поселений.

Приведённый перечень мер является открытым и может быть дополнен множеством других, ориентированных на сохранение сельских поселений и сельского образа жизни, предотвращение массовой миграции жителей села, сохранение национальных традиций и культуры, установление барьеров для социального опустынивания сельских территорий. Все они будут способствовать и более рациональному использованию земельного потенциала России.

Немаловажное значение имеет седьмое направление, в рамках которого необходимо воссоздать хотя бы один научный центр, специализирующийся на исследования в сфере развития земельных отношений и организации рационального использования и охраны земельных ресурсов страны. Следует напомнить, что в советский период успешно функционировали Государственный институт земельных ресурсов (ГИЗР), Российский научно-исследовательский и проектный институт землеустройства (РосНИИземпроект) с десятками филиалов по всей стране, Всесоюзный институт сельскохозяйственных геодезических изысканий (ВИСХАГИ), Центр мониторинга сельскохозяйственных земель. 15 землеустроительных факультетов сельскохозяйственных ВУЗов, все научные и проектные организации в конце 90-х - начале нулевых годов были выставлены на приватизацию и после прекратили свою деятельность. Сейчас исследования в этой сфере ведут лишь небольшой отдел во ВНИИЭСХ, Государственный университет по землеустройству и землеустроительные факультеты нескольких аграрных университетов, в составе которых нет научных подразделений. Им не по силам обеспечить решение огромного числа проблем земельной сферы, и поэтому её научное обеспечение находится на предельно низком уровне. Немало проблем накопилось и в кадровом обеспечении структур, осуществляющих регулирование земельных отношений и управление земельными ресурсами. Кроме общего снижения уровня подготовки специалистов в связи с отказом от подготовки инженеров-землеустроителей и переходом на систему бакалавриата, ещё и значительно

уменьшился приём на специальности этого профиля. Наш анализ состава сотрудников в подразделениях, осуществляющих регулирование земельно-имущественных отношений в администрациях субъектов РФ и в органах местного самоуправления в нескольких областях Центрального федерального округа, показал, что из общего числа их сотрудников лишь 15-20% имеют профильное образование. Очевидно, что такое положение не позволяет обеспечить высокую эффективность их деятельности. Изменить его можно вернув подготовку в университетах инженеров–землеустроителей и кадастровых инженеров и увеличив приём студентов на эти специальности.

Наконец, в рамках восьмого направления необходимо осуществить комплекс мер по устранению причин и условий, порождающих коррупцию и другие криминальные явления в сфере управления земельными ресурсами. К сожалению, по количеству должностных преступлений на муниципальном уровне коррупция в сфере регулирования земельно-имущественных отношений уже длительное время находится на первом месте в их общем числе. Осуждены тысячи чиновников, но число преступлений не сокращается. Очевидно, что нужны не столько наказания преступных элементов, сколько формирование условий, в которых совершение преступлений станет невозможным. Полагаем, что главным условием здесь должна стать абсолютная открытость и публичность всех операций в рамках рыночного оборота земельных участков. Сегодня для этого существуют огромные возможности. Современные информационные технологии позволяют информировать население о всех предстоящих операциях с земельными участками с указанием сведений об их количественных и качественных характеристиках, условиях проведения торгов и других действий, стоимостных параметрах планируемых сделок, их участниках и результатах проведения. Открытость информации не позволит осуществлять тайные операции в пользу чиновников и их окружения. В рамках новой земельной политики эти меры должны быть поставлены во главу угла и обеспечить как пользу для государства, так и социальную справедливость для населения страны.

Названные направления земельной политики в Российской Федерации на среднесрочную перспективу должны найти должное отражение в стратегическом документе, который в настоящее время находится в стадии подготовки и предварительного рассмотрения во властных структурах и экспертном сообществе.

Список использованных источников

1. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2023 году. - М.: Росреестр, 2024. - 194 с.
2. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2024 году. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2025. – 352 с.
3. Хлыстун, В.Н. Земельный потенциал России: состояние, использование, сохранение / В.Н. Хлыстун // Вестник Российской академии наук. - 2026. - № 2. - С. 113-121.

References

1. State (National) Report on the State and Use of Land in the Russian Federation in 2023. - Moscow: Rosreestr, 2024. - 194 p.
2. Report on the State and Use of Agricultural Land in the Russian Federation in 2024. - Moscow: FGBNU "Rosinformagrotekh", 2025. - 352 p.
3. Khlystun, V.N. Land Potential of Russia: state, use, and preservation / V.N. Khlystun // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. - 2026. - № 2. - Pp. 113-121.

1.2 ВЫСШЕЕ МЕЛИОРАТИВНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

Сельскохозяйственная отрасль является наиважнейшей отраслью народного хозяйства Республики Беларусь. Мелиорация земель является одной из ключевых составляющих агропромышленного комплекса. Республика обладает уникальной системой осушительных и оросительных систем, созданных преимущественно в 1970-90-х годах, которые сегодня требуют не только значительных инвестиций в реконструкцию, но и качественного кадрового обеспечения. В условиях глобального изменения климата, участившихся засух на Полесье и необходимости ввода в оборот ранее выбывших земель, вопрос подготовки высококвалифицированных инженеров-мелиораторов приобретает статус государственной важности.

Однако, как показывают открытые данные и заявления первых лиц государства, система высшего образования в этой сфере столкнулась с системными вызовами. Наблюдается разрыв между потребностями реального сектора экономики и предпочтениями абитуриентов, старение профессорско-преподавательского состава и недостаточная эффективность механизмов распределения молодых специалистов. Мы проанализировали основные проблемы высшего мелиоративного образования в Республике Беларусь на основе официальных источников и предлагаем пути их решения с учетом современных вызовов отрасли.

Целью настоящего исследования являлось выявление имеющихся проблем в области высшего мелиоративного образования и предложение

мероприятий, способствующих их разрешению. Для достижения поставленной цели был выполнен анализ современного состояния и перспектив его развития в Республике Беларусь.

Применялась общенаучная методология с использованием абстрактного и эмпирического уровней. Материалами выступали материалы из открытых источников. В результате анализа выявлены состояние высшего мелиоративного образования, проблемы и предложены пути их решения.

Итак, каково же современное состояние мелиоративной отрасли и потребность в кадрах? Для понимания вопроса необходимо оценить масштаб задач, стоящих перед отраслью. Согласно данным Министерства сельского хозяйства и продовольствия, в сельскохозяйственном производстве республики сегодня используется порядка 2,8 млн. га мелиорированных земель, что составляет 35% от общего количества. Нормативный срок эксплуатации мелиоративных систем составляет 40 лет, и на сегодняшний день значительная часть этих систем нуждается в реконструкции [2, 8].

Государственная программа «Аграрный бизнес» на 2021-25 годы предусматривала масштабные работы. За пять лет планировалось провести мероприятия на 306 тыс. га, включая реконструкцию и культуртехническую мелиорацию. Однако, как отметил глава Минсельхозпрода Юрий Горлов в интервью 2025 года, в результате инвентаризации выявлено, что до 2030 года вмешательства требуют 436 тыс. га. Приоритет смещается с простого восстановления систем на поддержание их в исправном состоянии и внедрение оросительных мероприятий в регионах, испытывающих дефицит влаги (например, пилотные проекты в Пинском районе) [6, 8].

Президент Республики Беларусь Александр Григорьевич Лукашенко в ходе визита в Гомельскую область в декабре 2025 года подчеркнул критическую важность этих работ: «Беларусь не должна зарости хмызняком...». Он отметил, что раньше к мелиорации относились безобразно, теперь же приходится «брать штурмом» возвращение земель в оборот [5]. Для выполнения этих задач требуются не просто рабочие руки, а инженеры, способные работать с современными гидротехническими сооружениями, владеющие методами биологической мелиорации и умеющие соблюдать экологический баланс, который, как отмечают эксперты, был нарушен в советский период [5].

Так в чем же заключаются проблемы высшего мелиоративного образования?

Во-первых, это низкий престиж специальности и «перекос» в предпочтениях абитуриентов. Наиболее острая проблема, озвученная

на самом высоком уровне, – это отсутствие мотивации у сильных абитуриентов поступать на технические и сельскохозяйственные специальности, включая мелиорацию.

В сентябре 2023 года премьер-министр Роман Головченко на совещании по вопросам образования привел шокирующие данные: в Брестском государственном техническом университете самый высокий проходной балл традиционно был на специальности «электронная экономика» и «маркетинг», в то время как на специальности «мелиорация и водное хозяйство» и «строительство зданий и сооружений» он оказался на уровне «двоечников и троечников». Премьер назвал это «уму непостижимым» и указал на хронический перекос, при котором лучшие умы уходят в гуманитарные сферы, не связанные напрямую с производством [9].

Президент Беларуси в феврале 2024 года на встрече с Советом ректоров акцентировал внимание на разрыве между спросом и предложением на рынке труда. Он предупредил об опасности повторения ошибок 1990-х, когда ВУЗы готовили толпы юристов и экономистов, работавших затем таксистами. «Подготовка непрофильных специалистов, низкая закрепляемость на первом рабочем месте, уход из профессии – это недопустимая роскошь для нашей державы», – заявил Александр Лукашенко [3, 4]. Мелиорация, являясь сложной инженерной специальностью, проигрывает в глазах молодежи «модным» управленческим и IT-специальностям, несмотря на реальную потребность экономики в этих кадрах.

Во-вторых – это проблема закрепления кадров на местах. Даже те выпускники, которые получают диплом инженера в области мелиорации и водного хозяйства, зачастую не остаются работать по специальности. Руководство мелиоративно-строительного факультета Учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» (УО БГСХА), которая является базовым вузом для подготовки мелиораторов, еще в 2015 году отмечало сложности с закреплением молодых специалистов на производстве. Доктор сельскохозяйственных наук, профессор Владимир Иосифович Желязко указывал на несовершенство законодательства в части распределения и службы в армии. Существовала проблема, когда выпускник, уходя в армию сразу после ВУЗа, фактически освобождался от обязанности отрабатывать распределение, теряя связь с предприятием-заказчиком. Кроме того, договоры на целевую подготовку часто заключались с абитуриентами не из тех регионов, где расположены предприятия, что снижало вероятность их закрепления после учебы и положенной отработки [10].

Спустя десятилетие эти проблемы остаются актуальными. В 2024 году Президент констатировал, что «целевая подготовка не решает проблему», и раскритиковал ситуацию, когда менее 30% выпускников профильных классов поступают по профилю в ВУЗы, а наниматели и ВУЗы договариваются о «липовой» отработке, отпуская специалистов без реальной работы на производстве [4].

В-третьих – это старение профессорско-преподавательского состава и нежелание молодежи идти в науку и преподавание. «Молодежь не очень охотно идет в науку и преподавание», – отметил Президент, указав, что система образования не успевает за технологиями, и молодые специалисты вынуждены доучиваться уже непосредственно на производстве [3, 4].

Мелиорация в Беларуси сегодня требует внедрения современных технологий: цифрового мониторинга гидротехнических сооружений, систем точного орошения, методов биологической рекультивации торфяников. Однако, если ВУЗы не обновляют материально-техническую базу и программы, а преподавательский состав не омолаживается, качество подготовки неизбежно отстает от требований заказчиков [1].

Так каковы же пути решения накопившихся проблем?

Простого и однозначного ответа на данный вопрос не существует. Одним из путей мы видим в корректировке контрольных цифр приема и отказ от «модных» специальностей.

Правительством и Министерством образования взят курс на жесткую увязку контрольных цифр приема (КЦП) с потребностями госсектора экономики. Как подчеркивается в аналитических материалах, за последние 5...7 лет в Беларуси выполнили сложнейшую задачу: цифры набора теперь полностью соотносятся с потребностями экономики [7].

В отношении мелиорации это означает расширение набора на инженерные специальности и сокращение невостребованных гуманитарных направлений в аграрных и технических ВУЗах. Политологи отмечают, что государству выгоднее быстрее выпустить студента и при необходимости доучивать его на производстве, чем держать «вечных студентов» в системе [7].

Второй путь связан с совершенствованием механизмов целевой подготовки и распределения.

Для решения проблемы закрепляемости кадров предлагается ужесточение законодательства. Еще в 2015 году предлагалось внести поправки, обязывающие выпускников, ушедших в армию после

распределения, возвращаться на отработку. Сегодня этот механизм прорабатывается на уровне Правительства [4, 10].

Кроме того, важно изменить философию целевого набора. Как отмечают ректоры, заказчики кадров должны активнее участвовать в профориентации не на этапе подачи документов, а гораздо раньше, начиная со школьной скамьи. Необходимо, чтобы договоры на целевую подготовку заключались с местными абитуриентами, что повысит шансы, что выпускник вернется в родной регион. Президент прямо поставил вопрос перед губернаторами и министрами: «Почему они не приходят в ВУЗы или не везут своих будущих специалистов к себе на конвейер?» [4].

Третий путь связан с решением проблемы старения кадров и лежит через создание привлекательных условий для молодых ученых и преподавателей. В Беларуси созданы детские технопарки и особые условия для молодых ученых в ВУЗах. Однако для мелиоративной отрасли важно, чтобы эти ученые были интегрированы в реальные промышленные разработки.

Министр образования Андрей Иванец в рамках проводимой политики делает упор на популяризацию науки и поиск молодых талантов [7]. ВУзам необходимо активнее привлекать практиков с мелиоративных предприятий к преподаванию, чтобы сократить разрыв между теорией и реальными условиями работы [5, 6].

В последние годы на мелиоративно-строительном факультете ведется планомерная работа по укреплению материально-технической базы, повышению острепенённости педагогического состава, в том числе благодаря тесному сотрудничеству с коллегами из Российской Федерации.

Четвертый путь связан с необходимостью усиления идеологической и воспитательной работы. Президент неоднократно подчеркивал, что образование – это не только трансфер знаний, но и формирование мировоззрения. В условиях, когда мелиорация требует высокой самоотдачи и работы в полевых условиях (часто в отдаленных районах), воспитание патриотизма и чувства ответственности за землю становится важным фактором закрепления кадров. Для факультета это означает необходимость активного вовлечения студентов в реальные стройки, работу в студенческих отрядах на реконструкции мелиоративных систем, чтобы будущий инженер понимал ценность своего труда для продовольственной безопасности страны.

Каковы же перспективы развития мелиоративного образования?

С учетом стратегических планов на 2025-2030 годы перспективы для выпускников-мелиораторов выглядят обнадеживающе. Запланировано ежегодное финансирование эксплуатации мелиоративных систем на уровне до

300 млн рублей, а годовые объемы работ составят порядка 87 тыс. га [6]. Это гарантирует высокий спрос на кадры в ближайшее десятилетие, но и потребует от системы образования пересмотра учебных программ в сторону изучения альтернативных методов мелиорации, экологического мониторинга и использования ГИС-технологий.

Выводы. Высшее мелиоративное образование в Республике Беларусь находится на этапе глубокой трансформации. С одной стороны, государство ставит перед отраслью амбициозные задачи по возвращению земель в оборот и реконструкции мелиоративных систем, что формирует устойчивый спрос на инженерные кадры. С другой стороны, система подготовки сталкивается с наследием прошлого: низким престижем специальности среди абитуриентов, старением преподавательского состава и несовершенством механизмов распределения.

Пути решения, озвученные Президентом и Правительством, лежат в плоскости жесткого планирования контрольных цифр приема в интересах реального сектора, совершенствования законодательства о целевом наборе и отработке, а также омоложения профессорско-преподавательского состава. Только комплексный подход, объединяющий усилия Министерства образования, Министерства сельского хозяйства и продовольствия, облисполкомов и самих ВУЗов, позволит сформировать новое поколение инженеров-мелиораторов, способных решать задачи обеспечения продовольственной безопасности страны.

Список использованных источников

1. Боровиков, А.А. Инженерное образование в современных условиях: вызовы и пути решения / А.А. Боровиков // Инновационные технологии в мелиорации и обустройстве сельских населенных пунктов: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, Горки, 28 февраля 2025 года. – Горки: БГСХА, 2025. – С. 20-24. – EDN PLAVTG.
2. Боровиков, А.А. Мелиорация в Беларуси: состояние, проблемы и пути решения / А.А. Боровиков, В.С. Бочарников, И.А. Романов // Мелиорация будущего: тренды, инновации и технологии в сельском хозяйстве: материалы Международного Форума молодых ученых, посвященного 100-летию образования ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, Москва, 28–29 марта 2024 года. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, 2024. – С. 120-127. – DOI 10.37738/VNIIGIM.2024.98.62.019. – EDN SNZAVB.
3. Лукашэнка абазначыў галоўныя праблемы вышэйшай адукацыі ў Беларусі. – Sputnik Беларусь, 13.02.2024. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bel.sputnik.by/20240213/lukashenka-abaznachy-galonyya-prablemy-vysheyshay-adukatsy--belarus-1083601913.html> – Дата доступа: 26.03.2026.

4. Лукашэнка назваў пяць галоўных праблем у сістэме вышэйшай адукацыі і чакае іх вырашэння. – Офіцыйны сайт Пінскага раённага выканаўчага камітэта, 14.02.2024. [Электронны рэсурс]. – Режим доступу: <https://www.pinsk.brest-region.gov.by/by/news-by/view/lukashenka-nazvau-pjats-galounykh-prablem-u-sisteme-vyshejs Haj-adukatsyi-i-chakae-ix-vyrashennja-2000003296> – Дата доступу: 26.03.2026.
5. Не зарасті хмызняком: зачём Беларусі меліярацыя. – Sputnik Беларусь, 02.12.2025. [Электронны рэсурс]. – Режим доступу: <https://sputnik.by/20251202/ne-zarasti-khmyznyakom-zachem-belarusi-melioratsiya-1102171547.html> – Дата доступу: 26.03.2026.
6. О планах и пилотных проектах белорусских мелиораторов рассказали в Минсельхозпрод. – Беларусь сегодня, 02.06.2025. [Электронны рэсурс]. – Режим доступу: <https://www.sb.by/articles/o-planakh-i-pilotnykh-proektakh-belorus-skikh-melioratorov-rasskazali-v-minselkhozprode.html> – Дата доступу: 26.03.2026.
7. Политолог о награждении выпускников: это наши «светлые лица» – и они будут работать на систему. – Минская правда, 20.06.2025. [Электронны рэсурс]. – Режим доступу: <https://mlyn.by/20062025/politolog-o-nagrazhdenii-vypusknikov-eto-nashi-svetlye-licza-i-oni-budut-rabotat-na-sistemu/#offcanvasSearch> – Дата доступу: 26.03.2026.
8. Сила земли: Министр сельского хозяйства и продовольствия Юрий Горлов о прогнозах на урожай и стратегии на следующую пятилетку, 30.09.2025. [Электронны рэсурс]. – Режим доступу: <https://mshp.gov.by/ru/news-ru/view/sila-10026-2025/> – Дата доступу: 26.03.2026.
9. Соповещание по вопросам совершенствования образовательной сферы, 21.09.2023. [Электронны рэсурс]. – Режим доступу: <https://president.gov.by/ru/events/soveshchanie-po-voprosam-sovershenstvovaniya-obrazovatelnoy-sfery> – Дата доступу: 26.03.2026.
10. Эксперты – о проблемах распределения кадров. – Беларусь сегодня, 21.12.2015. [Электронны рэсурс]. – Режим доступу: <https://www.sb.by/articles/vremenshcheki-raskreplyayut-tselevikov.html> – Дата доступу: 26.03.2026.

References

1. Borovikov, A.A. Engineering Education in Modern Conditions: Challenges and Solutions / A.A. Borovikov // Innovative Technologies in Land Reclamation and Rural Settlement Development: Collection of Scientific Papers Based on the Materials of the International Scientific and Practical Conference, Gorki, February 28, 2025. – Gorki: BSSA, 2025. – Pp. 20-24. – EDN PLAVTG.
2. Borovikov, A.A. Land Reclamation in Belarus: Status, Problems and Solutions / A.A. Borovikov, V.S. Bocharnikov, I.A. Romanov // Land Reclamation of the Future: Trends, Innovations and Technologies in Agriculture: Proceedings of the International Forum of Young Scientists Dedicated to the 100th Anniversary of the A.N. Kostyakov All-Russian Research Institute of Land Reclamation and Melioration, Moscow, March 28–29, 2024. – Moscow: All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov, 2024. – Pp. 120-127. – DOI 10.37738/VNIIGIM.2024.98.62.019. – EDN SNZAVB.
3. Lukashenko outlined the main problems of higher education in Belarus. - Sputnik Belarus, 02/13/2024. [Electronic resource]. - Access mode: <https://bel.sputnik.by/20240213/lukashenka-abaznachy-galonyya-prablemy-vysheys Haj-adukatsy--belarus-1083601913.html> - Date of access: 26.03.2026.

4. Lukashenko named five main problems in the higher education system and is waiting for their solution. - The official website of the Pinsk Regional Executive Committee, 02/14/2024. [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.pinsk.brest-region.gov.by/by/news-by/view/lukashenka-nazvau-pjats-galounyx-prablem-u-sisteme-vyshejs Haj-adukatsyi-i-chakae-ix-vyrashennja-2000003296> - Access date: 26.03.2026.
5. Don't Let It Grow Wild: Why Belarus Needs Land Reclamation. – Sputnik Belarus, 02.12.2025. [Electronic resource]. Access mode: <https://sputnik.by/20251202/ne-zarasti-khmyznyakom-zachem-belarusi-melioratsiya-1102171547.html> – Accessed on: 26.03.2026.
6. The Ministry of Agriculture and Food has shared information about the plans and pilot projects of Belarusian land reclamation specialists. – Belarus Today, 02.06.2025. [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.sb.by/articles/o-planakh-i-pilotnykh-proektakh-belorus-sikh-melioratorov-rasskazali-v-minselkhozprode.html> – Access date: 26.03.2026.
7. Political scientist on awarding graduates: these are our “bright faces” – and they will work for the system. – Minsk Pravda, 20.06.2025. [Electronic resource]. – Access mode: <https://mlyn.by/20062025/politolog-o-nagrazhdenii-vypusnikov-eto-nashi-svetlye-licza-i-oni-budut-rabotat-na-sistemu/#offcanvasSearch> – Access date: 26.03.2026.
8. The Power of the Land: Minister of Agriculture and Food Yuri Gorlov on Crop Forecasts and the Next Five-Year Strategy, 30.09.2025. [Electronic resource]. – Access mode: <https://mshp.gov.by/ru/news-ru/view/sila-10026-2025/> – Access date: 26.03.2026.
9. Meeting on the Improvement of the Educational Sphere, 21.09.2023. [Electronic resource]. – Access mode: <https://president.gov.by/ru/events/soveshchanie-po-voprosam-sovershenstvovaniya-obrazovatelnoy-sfery> – Date of access: 26.03.2026.
10. Experts on the Problems of Staff Distribution. – Belarus Today, 21.12.2015. [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.sb.by/articles/vremenshcheki-raskreplyayut-tselevikov.html> – Access date: 26.03.2026.

1.3 ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕЛИОРАЦИИ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ С УЧЕТОМ СРЕДНЕСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ТЕПЛО-ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ АГРОЛАНДШАФТОВ

Фундаментальной мировой и региональной экологической проблемой является деградация наземных и водных экосистем, которые испытывают сильнейшую нагрузку, и многие из них находятся в критическом состоянии [8].

Развитие процессов деградации и роста дефицита водно-земельных ресурсов, непосредственно связанных с происходящими климатическими изменениями и интенсификацией техногенных воздействий, требует разработки и реализации стратегии устойчивого развития мелиорации и интегрированного управления водными и земельными ресурсами на базе комплекса адаптационных агро-лесо-гидромелиоративных мероприятий для обеспечения эколого-экономически сбалансированного

сельскохозяйственного природопользования и предотвращения загрязнения природных экосистем [1].

В связи с природно-климатическими рисками, устойчиво высокий уровень урожайности агробиоценозов может быть обеспечен на основе развития гидромелиорации и адаптивных систем орошаемого земледелия, что требует высокой степени качественного водно-ресурсного, инженерно-технического и информационно-аналитического обеспечения.

Целью является научно-методическое обоснование направлений устойчивого развития мелиорации на Северном Кавказе с учетом прогноза тепло-влагообеспеченности агроландшафтов на среднесрочную перспективу, обеспечивающего повышение эффективности использования интегральных ресурсов и снижение климатических рисков.

Теоретические основы научных исследований сформированы на базе методологии теории управления и рационального природопользования, ориентированных на достижение рационального взаимодействия человека и природы, обеспечивающего сбалансированность социально-эколого-экономического эффекта в процессе жизненного цикла и развития природно-технических систем, интерпретированных для анализа и прогноза производственной деятельности мелиоративного комплекса Северного Кавказа.

Нормативно-методической основой для проведения исследований являются действующие нормативные акты, нормативно-технические документы и распоряжения Минсельхоза и Минприроды России.

При проведении научных исследований использовались стандартные методы статистических исследований многолетних рядов, размещенных в базах данных на информационном портале ФГБНУ ВНИИ «Радуга» и методология многофакторного анализа, которая позволяет учесть динамическую дифференциацию агроклиматических зон по тепловлагообеспеченности вегетационных периодов с учетом гидрологической, водохозяйственной обстановки и техно-экологического состояния мелиоративного комплекса [2].

Агропромышленный комплекс является важнейшим сектором экономики Северо-Кавказского федерального округа. На сельское, лесное хозяйство, охоту, рыболовство приходится до 14,10% валового регионального продукта СКФО, а стоимость произведенной сельскохозяйственной продукции составляет более 670,65 млрд рублей, или около 8,70% от стоимости продукции сельского хозяйства в Российской Федерации в 2023 году. Доля Северо-Кавказского федерального округа в аграрном

секторе России весьма существенна и составляет по видам сельскохозяйственных культур: овощей открытого грунта - 17%, бахчевых культур - 14%, зерновых и зернобобовых культур - до 7%, в том числе риса - около 11%, винограда - 42%, плодово-ягодных культур - 30% [10].

Однако главным фактором риска в развитии сельскохозяйственного производства является тот факт, что сельскохозяйственные угодья СКФО располагаются в природно-климатических зонах, относящихся по агроклиматической классификации к засушливой степной зоне с дефицитом естественной водообеспеченности [4-6].

В данных природно-климатических условиях сельскохозяйственное производство может развиваться только при наличии надежной, действующей в нормативном режиме развитой ирригационной инфраструктуры (рисунок 1.1).

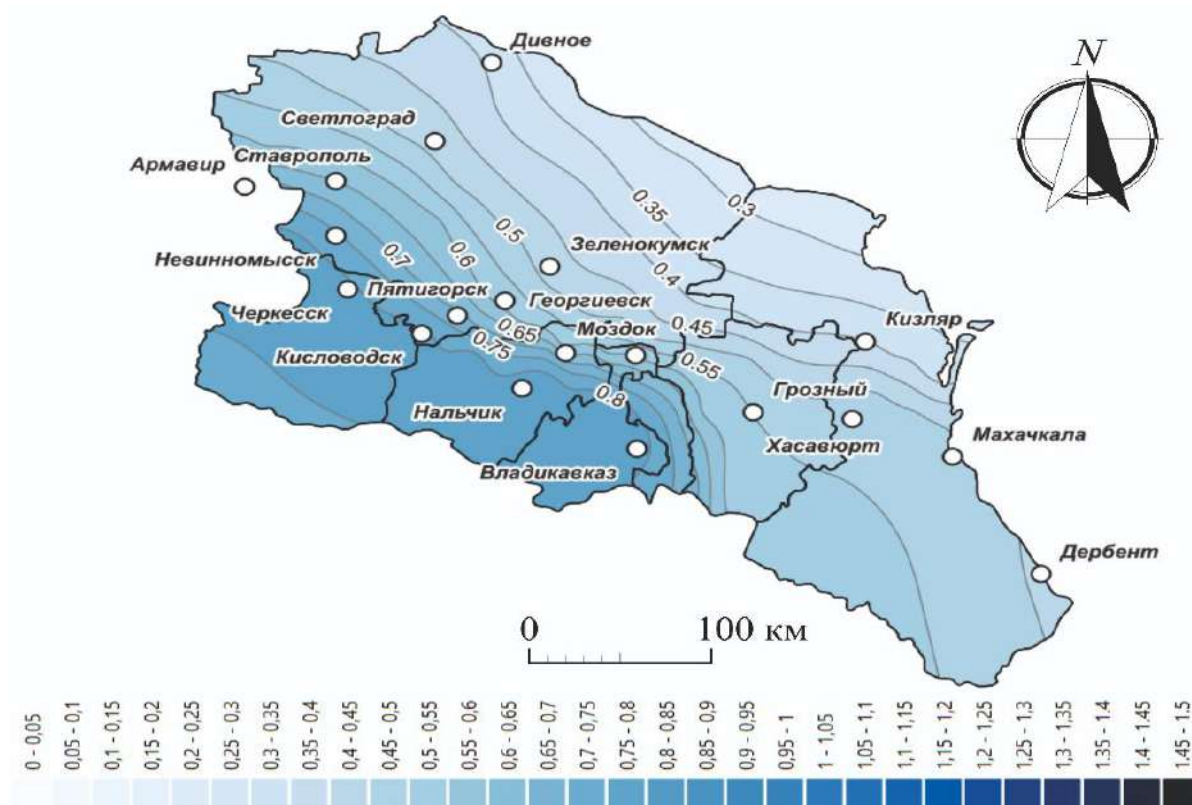


Рисунок 1.1 - Карта-схема ГИС агроклиматического районирования зон тепло-влагообеспеченности СКФО по коэффициенту увлажнения K_u : 0,21...0,30 – сухая полупустынная; 0,31...0,40 – очень засушливая степная; 0,41...0,50 – засушливая степная; 0,51...0,60 – полузасушливая степная; 0,61...0,70 – слабозасушливая; 0,71...0,80 – полувлажная лесостепная; 0,81...1,00 – влажная; более 1,00 – высокогорная

Анализ результатов сельскохозяйственной деятельности подтверждает более эффективное использование земель ирригационного фонда

по сравнению с богарным земледелием, так доля орошаемых земель в общей площади сельскохозяйственных угодий составляет около 8,5%, а производство сельскохозяйственной продукции в стоимостном выражении составляет около 21,0%, то есть в 2,5 раз выше, чем на богаре, а в отдельных регионах, таких как Дагестан и Ставропольский край в 4...5 раз выше, чем на богаре (таблица 1.1).

Таблица 1.1 - Урожайность сельскохозяйственных культур, (ц/га)

Субъект СКФО РФ	Культура	Урожайность сельскохозяйственных культур		
		на богарных землях	на орошаемых землях	прирост
1	2	3	4	5
Республика Дагестан	Зерновые	25,70	42,50	16,80
	Кормовые	148,30	195,50	47,20
	Овощные	348,30	500,00	151,7
Республика Ингушетия	Зерновые	20,80	40,0	19,20
	Кормовые	-	300,0	300,0
	Овощные	46,20	250,00	203,80
Республика Карачаево-Черкессия	Зерновые	41,00	60,0	19,0
	Кормовые	160,0	450,0	290,0
	Овощные	195,0	350,00	155,0
Республика Кабардино-Балкария	Зерновые	53,60	70,0	16,40
	Кормовые	160,0	250,0	90,0
	Овощные	250,0	400,0	150
Республика Северная Осетия - Алания	Зерновые	57,0	70,0	13,0
	Кормовые	136,0	250,0	114,0
	Овощные	130,0	300,0	170,0
Ставропольский край	Зерновые	35,0	50,0	15,0
	Кормовые	130,0	350,0	220,0
	Овощные	145,0	370,0	225,0
Чеченская Республика	Зерновые	16,70	40,0	23,30
	Кормовые	40,0	200,0	160,0
	Овощные	64,0	250,0	186,0

Примечание: составлена автором на основе данных ФГБУ «Управление «Мелиоводхоз»

Технико-эксплуатационные параметры и состояние ирригационной инфраструктуры СКФО не соответствуют в полной мере требованиям нормативного *технико-эксплуатационного состояния и технического уровня оросительных систем*, надежности и оперативности водообеспечения агробиоценозов СКФО. Оросительные системы строились и вводились в эксплуатацию в 1970-1990 годы. Технический уровень строительства

оросительных систем определялся производственно-технологическими возможностями прошлого века [2,10].

Общее количество оросительных систем в Северо-Кавказском федеральном округе на 01.01.2022 год составляет 111 единиц, обслуживающих площадь 957,84 тыс. га, из них 71 оросительная система находится в неисправном состоянии и работают в неполную мощность. Физический износ 65 гидромелиоративных систем, с площадью орошаемых земель более 550,00 тыс. га, превышает 80%.

Из общей площади орошаемых земель не поливалось 509,50 тыс. га, в том числе по причинам технической неисправности оросительной сети – 400,30 тыс. га.

Второй важный фактор риска сельскохозяйственного производства - это агроэкологическое качество земель ирригационного фонда. Из общей площади орошаемых земель агроэкологическое состояние классифицируется как хорошее на площади 409,0 тыс. га; удовлетворительное - 226,0 тыс. га; неблагоприятное (неудовлетворительное) - 348,80 тыс. га. Из находящихся в неудовлетворительном экологическом состоянии на площади 199,50 тыс. га наблюдается близкое залегание грунтовых вод, на 75,60 тыс. га – засоление почв, а на 75,40 тыс. га зафиксированы совместное действие негативных экологических факторов – недопустимого близкого залегания грунтовых вод и засоления почв.

Учитывая важность СКФО для сельского хозяйства страны как системообразующего аграрного региона была принята к действию Стратегия социально-экономического развития СКФО, направленная на устойчивое социально-экономическое развитие региона и повышение эффективности использования интегральных ресурсов при выполнении требований экологической безопасности. Одно из приоритетных направлений Стратегии включает программу развития инфраструктуры мелиорации за счет современных способов полива, проведения агро-, лесо- и фитомелиоративных мероприятий при интродукции высокоурожайных сортов [10].

В регионе действует с 2022 года Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации как главный фактор стимулирующий развитие региональных мелиоративных программ устойчивого развития мелиорации и аграрного сектора региона [7].

Для комплексной оценки технико-экологически характеристик состояния и перспектив развития гидромелиоративного фонда была разработана информационная база данных на основе ГИС и модель

многофакторного анализа эффективности использования потенциала мелиоративно-водохозяйственного комплекса [6].

Геоинформационная база данных имеет структуру, включающую одиннадцать основных модулей: I «Структура земель», II «Мелиоративное и техническое состояние орошаемых земель», III «Мелиоративное и техническое состояние осушаемых земель», IV «Сводные сведения по ФГБУ», V «Оросительные системы», VI «Осушительные системы», VII «Отдельно расположенные гидротехнические сооружения», VIII «Насосные станции федеральной собственности», IX «Гидрометеорологическая информация», X «Внутригодичное распределение стока в створах границ водохозяйственных участков в годы расчетной обеспеченности по стоку», XI «Суммарный водозабор и сброс» (рисунок 1.2). Модуль «Гидрометеорологическая информационная база данных» включает многолетние наблюдения 200 метеостанций (длительность наблюдений 35-60 лет) по различным регионам Российской Федерации.

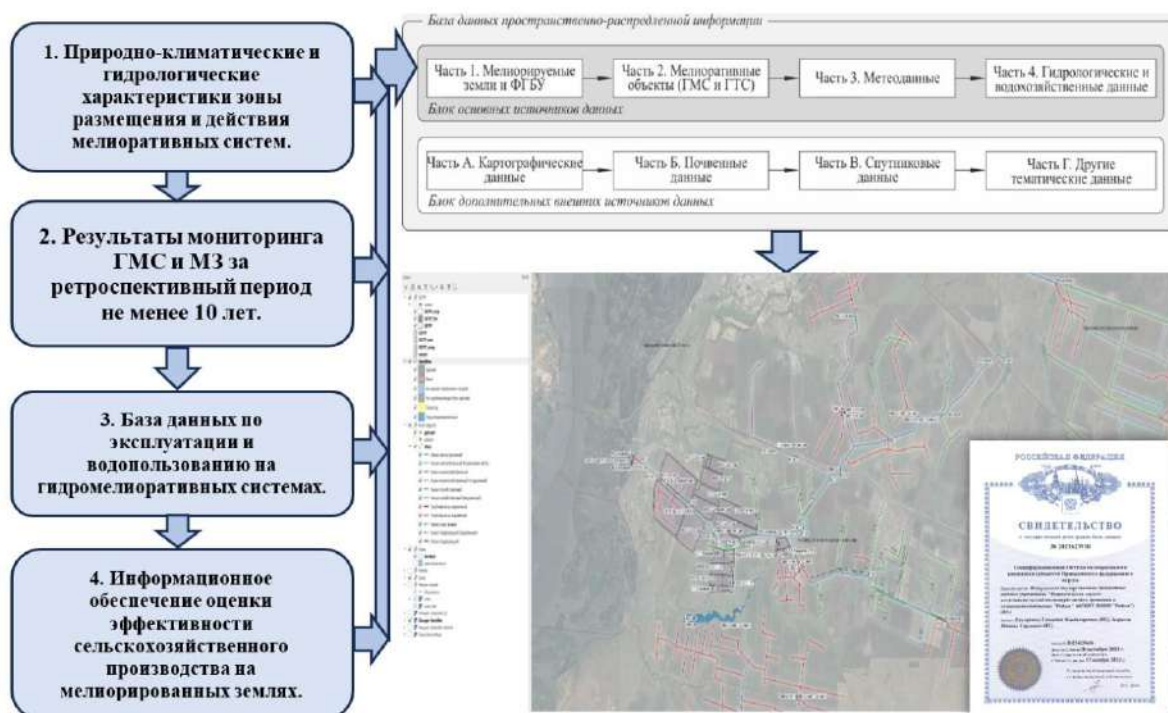


Рисунок 1.2 - Геоинформационная база данных пространственно-распределенной информации по СКФО

Информационная технология позволяет строить линейные схемы, продольные и поперечные профили линейных сооружений, анализировать техническое и экологическое состояние объектов с помощью дистанционного зондирования земли по методике ГОСТ Р 70611-2022, анализировать продуктивность агроландшафтов с помощью актуальных спектральных

спутниковых снимков, проводить анализ отдельных статей водного баланса, например, моделирование поверхностного стока и др.

По результатам анализа и оценки гидромелиоративных систем в регионах СКФО на основе полученной исходной информации сформирована база данных, в которой по степени износа и экологическим параметрам объекты классифицированы по трем основным группам технического и экологического состояния и соответствующих им видам требуемых капитальных строительных и ремонтных работ на период 2025-2030 гг.

Анализ и оценка эколого-экономических рисков устойчивого развития мелиоративного комплекса Северного Кавказа, как показали результаты исследований, формируются на основе ряда негативных факторов, снижающих потенциальные возможности ирригационного фонда и препятствующих устойчивому инновационному развитию агропромышленного комплекса: неудовлетворительное технико-эксплуатационное состояние и низкий технический уровень оросительных систем, значительная доля орошаемых земель, находящихся в плохом агроэкологическом состоянии.

Стратегия повышения эффективности мелиоративного природопользования включает комплекс гидромелиоративных инженерно-технологических видов деятельности в интеграции с системой агромелиоративных технологий, осуществляемых в едином цикле производственно-технологического процесса, направленного на модернизацию технико-эксплуатационных параметров и качества экологического состояния мелиорированных сельскохозяйственных угодий

Развитие мелиорации в СКФО по сценарию устойчивого развития показало, что площади орошаемых агробиоценозов составят более 900,00 тыс. гектаров при водоподаче за вегетационный период около 3500,00 млн м³ и норме водопотребления с учетом структуры агробиоценозов 350,0 мм, при повышении до 0,80...0,90 коэффициента полезного действия межхозяйственной оросительной сети (таблица 1.2).

Динамика изменчивости коэффициента влагообеспеченности подтверждает тенденцию к снижению K_u , потеплению и увеличению засушливости климата в условиях всех природно-климатических зон СКФО, но с разными амплитудами колебаний (изменчивости), прогнозируется повышение показателей аридизации климата примерно на 5% (снижение коэффициента естественного увлажнения) от современного состояния (рисунок 1.3).

Таблица 1.2 - Результаты реализации Стратегии устойчивого развития мелиоративного комплекса СКФО на период до 2030 года

№ п/п	Показатели	Ед. измерения	Базовый	УР MBX
1.	Наличие мелиорированных сельхозугодий	тыс. га	963,50	963,50
2.	Планируется использовать в сельскохозяйственном производстве	тыс. га	853,00	963,0
3.	Исключено из использования всего	тыс. га	110,50	0,00
4.	Включено в план вегетационных поливов	тыс. га	486,0	867,0
5.	Не включено в план вегетационных поливов – всего	тыс. га	381,00	96,50
6.	Технологии и техника поливов:			
6.1	- дождевание	тыс. га	56,0	450,0
6.2	- по бороздам и полосам	тыс. га	365,0	285,0
6.3	- по чекам	тыс. га	58,0	30,0
6.4	- капельное орошение	тыс. га	5,0	40,0
7.	Структура использования орошаемых сельхозугодий			
7.1	Посевная площадь – всего	тыс. га	486,0	867,0
7.2	В том числе: Зерновые культуры – всего	тыс. га	199,60	430,00
7.3	Из них:			
	- рис	тыс. га	24,90	30,0
	- кукуруза на зерно	тыс. га		
7.4	Технические культуры	тыс. га		
7.5	Овощи, бахчи, картофель – всего:	тыс. га	29,40	44,50
7.6	В том числе, овощи:	тыс. га		
	Кормовые культуры	тыс. га	166,90	217,80
	Многолетние насаждения	тыс. га	39,20	54,60
	Сенокосы и пастбища	тыс. га		
	Прочие	тыс. га	50,49	119,50
8.	Урожайность на орошении			
8.1	Зерновые культуры – всего	т/ га	3,80	5,30
8.2	Из них:			
8.3	рис	т/га	4,60	6,00
8.4	кукуруза на зерно			
8.5	Технические культуры			
8.6	Овощи, бахчи, картофель – всего	т/ га	31,50	43,90
8.7	В том числе, овощи			
8.8	Кормовые культуры	т/ га	17,50	21,50
8.9	Многолетние насаждения	т/га	13,50	39,70
8.10	Сенокосы и пастбища			
8.11	Прочие	т/га	2,25	3,87
8.12	Луга лиманного орошения			
9.	Забор и подача воды			
9.1	Суммарный забор воды из водных объектов	млн.м ³	4330,00	4380,00
9.2	Суммарная подача воды на орошение	млн.м ³	2600,00	3500,00
10.	Эффективность использования ресурсов			
10.1	Коэффициент использования воды на поле		0,60	0,80
10.2	Водоемкость продукции. СХП МЗ	м ³ /т	539,40	335,80
10.3	Водоемкость стоимости СХП МЗ	м ³ / 1000 рублей	25,40	13,20
10.4	КПД межхозяйственных каналов		0,60-0,70	0,80-0,90
10.5	Удельная водоподача на 1 га	м ³ /га	5760,0	3570,0
10.6	Удельные энергетические затраты	кВт/ч/ м ³	350,00	320,00

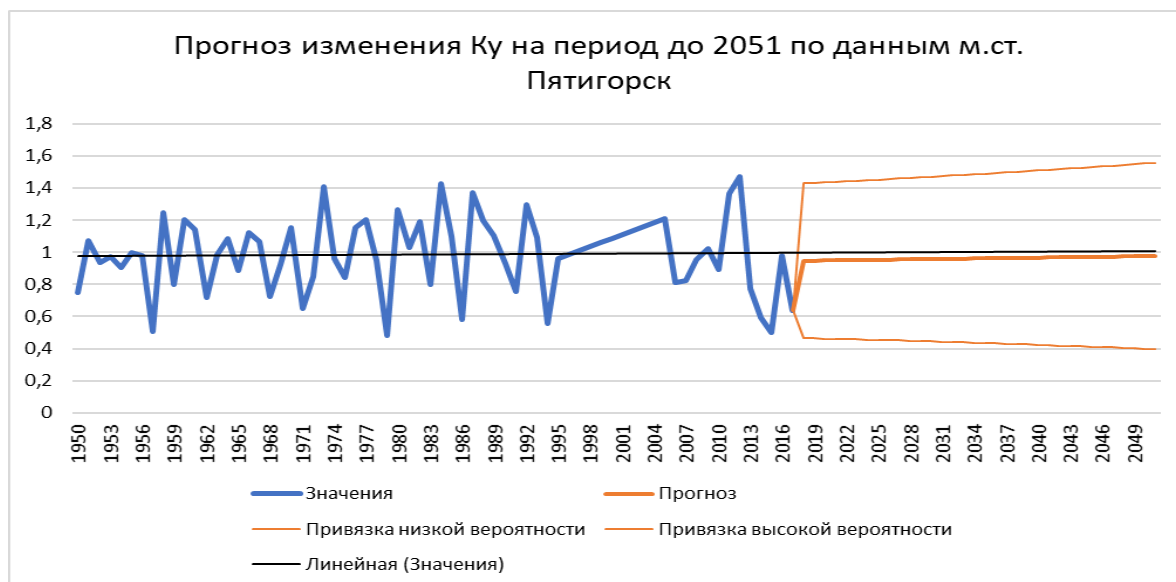


Рисунок 1.3 - Прогноз изменения Ку на период до 2050 года по данным метеостанции Пятигорск, с построением прогнозной линией тренда

Анализ перспектив изменения водопотребления агробиоценозов при реализации сценария устойчивого развития, показывает, что суммарная водоподача увеличится не более чем на 1,0 млрд м³, с увеличением площадей фактически орошаемых земель от 486,0 млн. га до 846,0 млн га (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Соотношение среднегодового объема стока бассейна рек Северного Кавказа с выделенными квотами в 2020 г., млн м³ [4]

Бассейн реки	Среднегодовой объем стока	Квота на забор воды из водных источников	Фактический водозабор
Терек	9370	5856	3093
Сулак	4700	1890	1072
Самур	2050	600	1-12
Кума	335	983	410
Кубань	11993	4950	2329

Существующие лимиты на извлечение водных ресурсов из водных объектов по субъектам СКФО составляют около 14626 млн м³, а фактический водозабор не превышает 7000,0 млн м³ [4,5]. Даже при прогнозе уменьшения годового стока рек Северного Кавказа, лимит может уменьшиться на 15...25%, [4,6], так как лимиты на забор воды из естественных водных источников значительно превышают необходимые объемы увеличения водозабора на орошение при реализации сценария устойчивого развития мелиорации на Северном Кавказе.

При реализации сценария устойчивого развития орошаемого земледелия доля мелиоративного комплекса в стоимостном выражении может составить более 54,0% от величины современного регионального валового продукта

агропромышленного комплекса Северо-Кавказского федерального округа при увеличении площади орошаемых земель, используемых в сельскохозяйственном производстве, до 20,0% от площади сельскохозяйственных угодий.

Выполненные расчёты показывают высокую коммерческую эффективность разработанного стратегического плана и инвестиций в устойчивое развитие мелиоративной инфраструктуры, которая выражается величиной прироста чистого дисконтированного дохода на величину 381,20 млрд руб., при сроке окупаемости инвестиций сельхозтоваропроизводителей 5 лет [3]. Бюджетная эффективность интегрированного комплекса мелиоративных мероприятий составит соответственно 137,4 млрд рублей и формируется за счёт поступлений налогов в бюджеты всех уровней, а срок окупаемости бюджетных инвестиций составит 6 лет, что меньше расчетного периода. Общую эффективность реализации Стратегии устойчивого развития подтверждает высокий положительный общественно значимый результат сценария устойчивого развития мелиорации на Северном Кавказе, прирост чистого дисконтированного дохода за расчетный период составит 701,20 млрд руб., а срок окупаемости инвестиций составляет менее 4 лет, что меньше расчетного периода.

Результаты расчёта социально-экологической и экономической эффективности инвестиций [9] в реализацию комплекса мероприятий по инновационному сценарию развития мелиорации в целом по Северо-Кавказскому федеральному округу с использованием критериев прироста чистого дисконтированного дохода и срока окупаемости инвестиций, свидетельствуют о целесообразности осуществления программы устойчивого развития мелиоративного комплекса, так как характеризуются высоким уровнем общественного эффекта и результатов реализации механизма государственно-частного партнерства инновационной стратегии устойчивого развития, в том числе для отдельных участников мелиоративно-производственных мероприятий деятельности.

Выводы. Технико-эколога-экономическое обоснование Стратегии устойчивого развития мелиоративного комплекса и системы инженерно-технологических и экологических мероприятий по повышению эффективности использования и экономии интегральных ресурсов Северного Кавказа, позволяет сделать экспертное заключение о потребности значительных инвестиций и материально-технического обеспечения, что обеспечивает существенное повышение продовольственного обеспечения Северо-Кавказского региона и валового регионального продукта, развитие

мелиоративной инфраструктуры, создание новых рабочих мест, повышение уровня социально-экономических условий жизни сельского населения региона, тем самым соответствует основным направлениям Государственной социально-экономической политики.

Список использованных источников

1. Дубенок, Н.Н. Перспективы восстановления мелиоративного комплекса Российской Федерации / Н.Н. Дубенок, Г.В. Ольгаренко // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2021. – № 2. – С. 56-59.
2. Информационный портала ФГБНУ ВНИИ «Радуга». База данных портала «РадугаИнформ». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://inform-raduga.ru/> (дата обращения: 06.03.2026).
3. Краснощеков, В.Н. Методика оценки экономической эффективности мероприятий по реконструкции мелиоративных систем с учетом технического состояния мелиоративных объектов, вероятностного характера изменения природно-климатических условий, хозяйственных, экологических и социальных условий функционирования, мелиорируемых агроландшафтов, экологической ценности природных экосистем, степени эрозии, структуры природных ландшафтов и ущерба здоровья человека: науч. издание / В.Н. Краснощеков, Д.Г. Ольгаренко. – Коломна: ИП Воробьев О.М., 2015. – 100с.
4. Кузьмичев, А.А. Оценка водного потенциала территорий Северо-Кавказского федерального округа и его использования в целях мелиорации земель / А.А. Кузьмичев, А.Н. Рыжаков, Д.В. Мартынов // Мелиорация и гидротехника. – 2022. – Т. 12., № 3. – С. 141–157.
5. Лурье, П.М. Водные ресурсы и водный баланс Кавказа: монография / П.М. Лурье. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. – 506 с. – (Гидрология и метеорология Кавказа). – ISBN 5-286-01423-4.
6. Повышение эффективности использования водных ресурсов и перспективы развития водопользования на мелиоративных системах Северного Кавказа: монография / Г.В. Ольгаренко, М.П. Замаховский, Т.А. Капустина [и др.]; под общ. ред. Г.В. Ольгаренко. – Москва: Русайнс, 2024. – 246 с.
7. Постановление Правительства РФ от 14.05.2021 № 731 «О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации» // Официальный интернет-портал правовой информации. – 18.05.2021. – URL: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 09.03.2026).
8. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО). Состояние мировых земельных и водных ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства: системы на пределе: сводный доклад 2021. – Рим: ФАО, 2021. – 202 с. – Текст: электронный // ФАО: официальный сайт. – URL: <https://doi.org/10.4060/cb7654ru> (дата обращения: 06.03.2026). – DOI: 10.4060/cb7654ru.
9. Разработать технико-экономическое обоснование развития мелиоративного комплекса Северного Кавказа: отчет о НИР / ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; рук. Дубенок Н.Н. – Москва, 2023. – 343 с.

10. Распоряжение Правительства РФ от 30.04.2022 № 1089-р «О Стратегии социально-экономического развития Северо-Кавказского федерального округа на период до 2030 года» // Официальный интернет-портал правовой информации. – 02.05.2022. – URL: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 09.03.2026).

References

1. Dubenok, N.N. Prospects for the Restoration of the Land Reclamation Complex of the Russian Federation / N.N. Dubenok, G.V. Ol'garenko // Bulletin of Russian Agricultural Science. – 2021. – No. 2. – Pp. 56-59.
2. Information Portal of the All-Russian Research Institute Raduga. Database of the RadugaInform Portal. [Electronic resource]. – Access mode: <https://inform-raduga.ru/> (accessed on March 6, 2026).
3. Krasnoshchekov, V.N. Methodology for Assessing the Economic Efficiency of Measures for the Reconstruction of Land Reclamation Systems, Taking into Account the Technical Condition of Land Reclamation Facilities, the Probabilistic Nature of Changes in Natural and Climatic Conditions, Economic, Environmental, and Social Conditions of Functioning, Reclaimed Agricultural Landscapes, the Ecological Value of Natural Ecosystems, the Degree of Erosion, the Structure of Natural Landscapes, and the Damage to Human Health: Scientific Publication / V.N. Krasnoshchekov, D.G. Ol'garenko. – Kolomna: IP Vorobyov O.M., 2015. – 100 p.
4. Kuzmichev, A.A. Assessment of the water potential of the territories of the North Caucasus Federal District and its use for land reclamation purposes / A.A. Kuzmichev, A.N. Ryzhakov, D.V. Martynov // Land Reclamation and Hydraulic Engineering. - 2022. - Vol. 12, No. 3. - Pp. 141–157.
5. Lurie, P.M. Water Resources and Water Balance of the Caucasus: A Monograph / P.M. Lurie. – St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2002. – 506 p. – (Hydrology and Meteorology of the Caucasus). – ISBN 5-286-01423-4.
6. Improving the Efficiency of Water Resources Use and Prospects for the Development of Water Management in the North Caucasus: A Monograph / G.V. Ol'garenko, M.P. Zamakhovsky, T.A. Kapustina, [et al.]; edited by G.V. Ol'garenko. – Moscow: Rusains, 2024. – 246 p.
7. Decree of the Government of the Russian Federation No. 731 dated 14.05.2021 "On the State Program for the Effective Use of Agricultural Land and the Development of the Land Reclamation Complex in the Russian Federation" // Official Internet Portal of Legal Information. – 18.05.2021. – URL: <http://www.pravo.gov.ru> (accessed: 09.03.2026).
8. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The state of the world's land and water resources for food production and agriculture: systems at the limit: summary report 2021. – Rome: FAO, 2021. – 202 p. – Text: electronic // FAO: official website. – URL: <https://doi.org/10.4060/cb7654ru> (accessed: 06.03.2026). – DOI: 10.4060/cb7654ru.
9. Develop a technical and economic justification for the development of the North Caucasus reclamation complex: research report / K.A. Timiryazev Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy; head. Dubenok N.N. - Moscow, 2023. - 343 p.
10. Order of the Government of the Russian Federation No. 1089-r dated April 30, 2022 "On the Strategy for the Socioeconomic Development of the North Caucasus Federal District for the Period up to 2030" // Official Internet Portal of Legal Information. – 02.05.2022. – URL: <http://www.pravo.gov.ru> (accessed on 09.03.2026).

1.4 КАДРОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МЕЛИОРАТИВНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА ОТРАСЛИ

Актуальность настоящего исследования обоснована тем, что на современном этапе развития АПК России: 1) наблюдается усиление значимости мелиоративной отрасли для гарантированного получения сельскохозяйственной продукции в РФ, это прежде всего, связано с кадровым потенциалом отрасли для достижения технологического суверенитета [1-3, 7], декларируемого в таких основополагающих документах, как «Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации», «Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов до 2030 года», государственная программа «Научно-технологическое развитие Российской Федерации»; 2) тема способствует решению вопросов формирования и распределения рабочей силы в сельском хозяйстве страны и в мелиоративной отрасли, что требует конкретизации в региональном масштабе; 3) исследование направлено на выявление факторов формирования КСП мелиорации за счёт экстенсивных и интенсивных возможностей развития кадрового потенциала, конкретизацию индикаторов оценки рабочей силы, позволяющих раскрыть специфические показатели развития мелиоративных организаций в территориальном пространстве России. Исследование выполнено в рамках Государственного задания Минсельхоза России на 2025 г.

Целью исследования являлось изучить и оценить кадровый потенциал подведомственных организаций Департамента мелиорации как обеспечивающего фактора достижения технологического суверенитета отрасли.

Задачи исследования: провести оценку экстенсивного потенциала конкурентоспособности рабочей силы по базовым индикаторам; провести оценку интенсивного потенциала рабочей силы по его базовым индикаторам; определить направления развития потенциала конкурентоспособности рабочей силы организаций Департамента мелиорации.

Выборка исследования: для оценки интенсивных факторов потенциала КСП ФГБУ по основному капиталу использованы данные, полученные от 64-х ФГБУ Департамента мелиорации МСХ РФ по всем федеральным округам РФ (Томский филиал ФГБУ «Управление «Алтаймелиоводхоз» и ФГБУ «Управление «Астраханмелиоводхоз» не предоставили данных за 2022 г.). Поскольку настоящее исследование проводилось в рамках Государственного задания Минсельхоза России на 2023-2025 г.

№ 082-00079-23-01, то все рассчитываемые параметры собирались на первом этапе ее реализации за 2020 г. и 2022 г. от ФГБУ по целевому запросу.

В процессе исследования применялись методы: системный, логический, статистический и экономический анализ, индикативно-рейтинговая оценка ФГБУ Департамента мелиорации Министерства сельского хозяйства, статистические и логические методы обработки и обобщения результатов.

Авторы благодарны руководству Департамента мелиорации Министерства сельского хозяйства Российской Федерации и ФГБНУ ВНИИ «Радуга» за поддержку научно-исследовательской работы, а также возможность проведения полевого исследования Федеральных государственных бюджетных учреждений (далее ФГБУ) в целях выполнения Государственного задания по теме НИР в 2025 году.

В рамках ранее апробированной методологии [4-5, 8] определены и рассчитаны индикаторы интенсивных факторов потенциала КСП подведомственных мелиоративных организаций - ФГБУ Департамента Мелиорации Минсельхоза России по рабочей силе. Для оценки экстенсивного потенциала конкурентоспособности (далее КСП) рабочей силы в качестве *базовых экстенсивных индикаторов потенциала КСП ФГБУ по рабочей силе* выбрали следующие показатели:

- удельный вес работников с профильным образованием;
- удельный вес работников со стажем от 5 лет.

При увеличении этих показателей всегда повышается потенциал КСП ФГБУ. Сравнительная характеристика индикаторов *экстенсивного потенциала КСП ФГБУ по рабочей силе* за 2020 г. и 2022 г. в разрезе ФО представлена в таблице 1.4.

На основе анализа данных таблицы 1.4 выявлено, что в 2022 г. по сравнению с 2020 г. оценка потенциала КСП ФГБУ увеличилась в СКФО, ЮФО, СФО, уменьшилась в ЦФО, СЗФО, УФО и не изменилась в ПФО и ДФО.

В 2022 г. по сравнению с 2020 г.:

- увеличился средний удельный вес работников с профильным образованием ФГБУ в ЦФО, СЗФО, СКФО, ПФО и ДФО, а в ЮФО, УФО и СФО он уменьшился;
- уменьшился средний удельный вес работников со стажем от 5 лет, ФГБУ в ДФО, а во всех федеральных округах увеличился.

Влияние базовых индикаторов на коэффициент *экстенсивного потенциала конкурентоспособности рабочей силы ФГБУ по федеральным округам* наглядно представим в таблице 1.5.

Таблица 1.4 - Сравнительная характеристика индикаторов экстенсивного потенциала КСП ФГБУ по рабочей силе

Федеральный округ	Средний удельный вес работников с профильным образованием, %			Средний удельный вес работников со стажем от 5 лет, %		
	2020 г.	2022 г.	Прирост	2020 г.	2022 г.	Прирост
ЦФО	44,28	47,61	3,33	65,16	61,48	-3,68
СЗФО	47,36	50,42	3,06	63,11	57,77	-5,34
СКФО	29,31	32,03	2,72	48,42	40,60	-7,82
ЮФО	27,50	24,56	-2,94	54,45	54,34	-0,11
ПФО	36,38	44,14	7,76	58,40	53,58	-4,82
УФО	43,23	39,55	-3,68	72,74	63,15	-9,59
СФО	44,22	36,72	-7,5	57,25	56,20	-1,05
ДФО	56,38	60,41	4,03	63,60	68,64	5,04

Примечание: составлено авторами по материалам исследования

Таблица 1.5 - Влияние базовых индикаторов на коэффициент экстенсивного потенциала КСП рабочей силы ФГБУ

Федеральный округ	Базовый индикатор «Удельный вес работников с профильным образованием», %		Базовый индикатор «Удельный вес работников со стажем от 5 лет», %	
	2020 г.	2022 г.	2020 г.	2022 г.
ЦФО	Заметное (0,5)	Заметное (0,6)	Заметное (0,5)	Заметное (0,6)
СЗФО	Сильное (0,8)	Очень сильное (0,9)	Сильное (0,8)	Очень сильное (0,9)
СКФО	Заметное (0,5)	Сильное (0,7)	Сильное (0,7)	Заметное (0,6)
ЮФО	Заметное (0,5)	Заметное (0,5)	Заметное (0,6)	Сильное (0,7)
ПФО	Сильное (0,8)	Очень сильное (0,9)	Очень сильное (0,9)	Очень сильное (0,9)
УФО	Сильное (0,8)	Очень сильное (0,9)	Очень сильное (1)	Очень сильное (0,9)
СФО	Сильное (0,8)	Сильное (0,7)	Заметное (0,5)	Сильное (0,8)
ДФО	Сильное (0,9)	Очень сильное (0,9)	Очень сильное (0,9)	Очень сильное (0,9)
В целом по РФ	Сильное (0,8)	Сильное (0,8)	Сильное (0,8)	Сильное (0,8)

Примечание: составлено авторами по материалам исследования

По результатам оценки экстенсивного потенциала рабочей силы мелиоративных организаций РФ, можно определить выводы:

- *выявлена положительная динамика* удельного веса работников с профильным образованием в ФГБУ по ЦФО, СЗФО, СКФО, ПФО и ДФО и его снижение в ЮФО, УФО и СФО;
- повышение удельного веса работников со стажем от 5 лет выявлено почти во всех федеральных округах, кроме ДФО;
- *снижение* потенциала КСП рабочей силы определено в ФГБУ по ЦФО, СЗФО и УФО;
- *повышение* потенциала КСП рабочей силы определено в ФГБУ по СКФО, ЮФО и СФО;
- *не изменился* потенциал КСП рабочей силы в ФГБУ по ПФО и ДФО, который не является лидером по производству сельскохозяйственной продукции на мелиорируемых землях и не обладает наиболее привлекательными природно-климатическими условиями для реализации мелиоративной деятельности в РФ.

С целью оценки интенсивного потенциала рабочей силы определены следующие базовые индикаторы:

- индекс удельного веса работников ФГБУ с профильным образованием на 1 га мелиорируемых земель в хорошем состоянии (в дальнейшем индекс удельного веса работников ФГБУ с профильным образованием);
- индекс удельного веса работников ФГБУ со стажем от 5 лет на 1 га мелиорируемых земель в хорошем состоянии (в дальнейшем индекс удельного веса работников ФГБУ со стажем от 5 лет).

В таблице 1.6 приведены средние значения интенсивных показателей потенциала КСП ФГБУ по рабочей силе и их приросты в ФГБУ Департамента мелиорации по федеральным округам.

Анализ данных таблицы 1.6 позволяет определить, что возрастающие тренды средних значений интенсивных показателей потенциала КСП рабочей силы в 2020 и 2022 гг. выявлены в ФГБУ по СЗФО и ЮФО, что характеризует устойчивую тенденцию по развитию потенциала КСП ФГБУ по рабочей силе.

Влияние базовых индикаторов потенциала КСП ФГБУ по рабочей силе на коэффициент потенциала представлено в таблице 1.7.

Таблица 1.6 - Динамика интенсивных показателей потенциала КСП ФГБУ по рабочей силе по федеральным округам

Федеральный округ	Индекс удельного веса работников ФГБУ с профильным образованием на 1 га мелиорируемых земель в хорошем состоянии			Индекс удельного веса работников ФГБУ со стажем от 5 лет на 1 га мелиорируемых земель в хорошем состоянии		
	2020 г.	2022 г.	Прирост	2020 г.	2022 г.	Прирост
ЦФО	3,51	3,35	-0,15↓	4,56	4,7	0,14↑
СЗФО	17,91	24,02	6,11↑	19,58	26,67	7,09↑
СКФО	0,85	0,82	-0,03↓	1,79	1,45	-0,34↓
ЮФО	3,12	3,23	0,11↑	6,67	7,65	0,98↑
ПФО	1,16	1,21	0,05↑	1,54	1,33	-0,21↓
УФО	15,85	7,67	-8,18↓	10,0	9,4	-0,6↓
СФО	5,22	4,35	-0,87↓	5,22	5,30	0,08↑
ДФО	10,67	9,43	-1,24↓	12,69	11,01	-1,68↓
Среднее по всем ФО	7,29	6,78	-0,51↓	7,76	8,42	0,67↑

Примечание: составлено авторами по материалам исследования

По результатам оценки *интенсивного потенциала рабочей силы* мелиоративных организаций РФ, можно сделать выводы:

– в 55,36% ФГБУ индикатор «Индекс удельного веса работников с профильным образованием» имел невозрастающий тренд, что свидетельствует о снижении численности работников в ФГБУ с профильным образованием и не способствует формированию интенсивного потенциала КСП ФГБУ, а в 58,93% ФГБУ индикатор «Индекс удельного веса работников со стажем от 5 лет» имел убывающий тренд, что свидетельствует о текучести кадров, снижающий интенсивный потенциал КСП ФГБУ;

– в 66,07% ФГБУ наблюдался убывающий тренд двух индикаторов, что негативно отражается на формировании интенсивного потенциала КСП ФГБУ;

– в 2022 г. по сравнению с 2020 г. качественные оценки интенсивного потенциала КСП ФГБУ по рабочей силе снизились в ЦФО, не изменились в СЗФО, СКФО, ЮФО, повысились в ПФО, СФО и ДФО.

Таблица 1.7 - Влияние базовых индикаторов потенциала КСП ФГБУ по рабочей силе на коэффициент потенциала

Федеральный округ	Базовый индикатор «Индекс удельного веса работников с профильным образованием»		Базовый индикатор «Индекс удельного веса работников со стажем от 5 лет»	
	2020 г.	2022 г.	2020 г.	2022 г.
ЦФО	Заметное (0,5)	Заметное (0,6)	Заметное (0,5)	Заметное (0,6)
СЗФО	Сильное (0,8)	Очень сильное (0,9)	Сильное (0,8)	Очень сильное (0,9)
СКФО	Заметное (0,5)	Сильное (0,7)	Сильное (0,7)	Заметное (0,6)
ЮФО	Заметное (0,5)	Заметное (0,5)	Заметное (0,6)	Сильное (0,7)
ПФО	Сильное (0,8)	Очень сильное (0,9)	Очень сильное (0,9)	Очень сильное (0,9)
УФО	Сильное (0,8)	Очень сильное (0,9)	Очень сильное (1)	Очень сильное (0,9)
СФО	Сильное (0,8)	(Сильное 0,7)	Заметное (0,5)	Сильное (0,8)
ДФО	Сильное (0,9)	Очень сильное (0,9)	Очень сильное (0,9)	Очень сильное (0,9)
В целом по РФ	Сильное (0,8)	Сильное (0,8)	Сильное (0,8)	Сильное (0,8)

Примечание: составлено авторами по материалам исследования

Выводы. В процессе исследования за период 2020-2022 гг. были выявлены и обоснованы направления развития потенциала конкурентоспособности рабочей силы мелиоративной отрасли в территориальном пространстве страны:

- расширение компетенций кадров мелиорации, необходимых для работы с автоматизированным и цифровым оборудованием, а также наличие финансовых возможностей для их переобучения (обучения) и приобретения инновационного оборудования (технологий), с широким применением БПЛА;
- сохранение численности профессиональных кадров;
- поддержание их качественного и количественного состава;
- повышение доли молодежных кадров, являющихся наиболее перспективной частью отраслевого рынка труда;
- поиск дополнительных кадровых ресурсов (в том числе за счет удержания мелиоративных кадров пенсионного возраста).

Список использованных источников

1. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия: утв. Постановлением Правительства РФ от 14.07.12г. № 717 (с изм. на 16.09.25г.), 2012, 2025. URL: <https://base.garant.ru/70210644/> (дата обращения: 20.10.2025).
2. Государственная программа Российской Федерации «Научно технологическое развитие Российской Федерации»: утв. Постановлением Правительства РФ от 29 марта 2019г. № 377 (с изм. на 15.05.2025г.), 2019, 2025ю URL: <https://base.garant.ru/72216664/> (дата обращения: 20.10.2025).
3. Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации: утв. Постановлением Правительства РФ от 14.05.2021г. № 731 (с изм. на 16.05.2025 г.), 2021, 2025. URL: <https://base.garant.ru/400773886/> (дата обращения: 20.10.2025 г.).
4. Паутова, Л.Е. Профессиональное развитие работников мелиорации в условиях дополнительного образования: монография / Л.Е. Паутова. - М: Русайнс, 2023. - 158 с.
5. Потенциал конкурентоспособности мелиоративной отрасли АПК РФ: монография / А.А. Угрюмова, М.П. Замаховский, О.Ю. Гришаева [и др.]; под общ. ред. А.А. Угрюмовой. – Москва: Русайнс, 2024. – 112 с.
6. Россия 2035: пространство развития. Научный доклад / Под редакцией чл.-кор. РАН А.А. Широ́ва. М.: Динамик Принт, 2025. - 364 с.
7. Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года: утв. Распоряжением Правительства РФ № 2567-р от 08.09.2022г. (с изм. от 23.11.2023г.), 2022, 2023. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405172287/> (дата обращения: 27.03.2024 г.).
8. Экстенсивное развитие потенциала конкурентоспособности организаций мелиоративной отрасли России: монография / О.Ю. Гришаева, М.П. Замаховский, Г.В. Ольгаренко [и др.]; под ред. А.А. Угрюмовой, Г.В. Ольгаренко. – Москва: Русайнс, 2025. – 286 с.

References

1. The State Program for the Development of Agriculture and regulation of Agricultural Products, Raw Materials and Food Markets: approved by the Government of the Russian Federation. By Decree of the Government of the Russian Federation No. 717 dated 07/14/12 (as amended on 509/16/25), 2012, 2025. URL: <https://base.garant.ru/70210644/> (date of request: 10/20/2025).
2. The State Program of the Russian Federation "Scientific and Technological Development of the Russian Federation": approved by By Decree of the Government of the Russian Federation dated March 29, 2019 No. 377 (as amended on 05/15/2025), 2019, 2025 URL: <https://base.garant.ru/72216664/> (date of access: 10/20/2025).
3. The State program of effective involvement in the turnover of agricultural lands and the development of the land reclamation complex of the Russian Federation: approved by the Government of the Russian Federation. By Decree of the Government of the Russian Federation No. 731 dated 05/14/2021 (as amended on 05/16/2025), 2021, 2025. URL: <https://base.garant.ru/400773886/> (accessed on 20.10.2025).
4. Pautova, L.E. Professional Development of Land Reclamation Workers in the Context of Additional Education: A Monograph / L.E. Pautova. - Moscow: Rusains, 2023. - 158 p.

5. The Competitiveness Potential of the Land Reclamation Industry in the Russian Federation: A Monograph / A.A. Ugryumova, M.P. Zamakhovsky, O.Yu. Grishaeva [et al.]; edited by A.A. Ugryumova. Moscow: Rusains, 2024. – 112 p.
6. Russia 2035: A Space for Development. Scientific Report / Edited by Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences. RAS A.A. Shirova, Moscow: Dynamik Print, 2025, 364 p.
7. Strategy for the development of the agro-industrial and fisheries complexes of the Russian Federation for the period up to 2030: approved by By Decree of the Government of the Russian Federation No. 2567-r dated 09/08/2022. (as amended. dated 23.11.2023), 2022, 2023. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405172287/> (accessed on 27.03.2024).
8. Extensive development of the competitiveness potential of organizations in the Russian reclamation industry: a monograph / O.Yu. Grishaeva, M.P. Zamakhovsky, G.V. Ol'garenko [et al.]; edited by A.A. Ugryumova, G.V. Ol'garenko. – Moscow: Rusains, 2025. – 286 p.

Глава 2 *КОМПЛЕКСНАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ И ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ*

2.1 ЗАПАСЫ ОБЩЕЙ И ПРОДУКТИВНОЙ ВЛАГИ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ОБРАБОТКИ СЕВЕРНЫХ ЧЕРНОЗЁМОВ

Запас доступной влаги в корнеобитаемом горизонте является важнейшим показателем плодородия почвы и незаменимым фактором для нормальной жизнедеятельности посевов и почвенных микроорганизмов [1,2]. Сельскохозяйственные растения проявляют особую чувствительность как к дефициту, так и к избытку влаги в почве.

При иссушении пахотного слоя снижается давление клеточного сока, уменьшается поглощение углекислоты, сокращается интенсивность фотосинтеза, что в конечном итоге приводит к падению продуктивности агроценоза или при длительной засухе, даже к полной гибели посевов. При избыточном содержании влаги в почве накапливаются вредные закисные соединения, что нарушает снабжение растений как кислородом, так и элементами минерального питания [2].

Для нормальной жизнедеятельности сельскохозяйственных культур уровень влажности корнеобитаемого горизонта должен составлять 60...80% НВ [3]. Кардинальный путь поддержания необходимого увлажнения пахотного слоя – это полив. На тяжёлых почвах с плохой водопроницаемостью непосредственно перед поливом для лучшего впитывания влаги проводят щелевание на глубину 40...50 см, что обеспечивает рациональное использование поливной воды и повышает эффективность вносимых удобрений. При этом корневая система растений хорошо развивается, что положительно влияет на формирование высоких урожаев [4].

Важное значение в системе обработки почвы при поливном земледелии отводится планировке и выравниванию поля, что обеспечивает равномерное распределение воды по поверхности участка и одновременное наступление физической спелости почвы. Ежегодная планировка предупреждает также застой воды в пониженных местах, исключает заболачивание территории и вторичное засоление земель сельскохозяйственного назначения [5,6].

По мнению отечественных учёных, система обработки почвы не только изменяет её структурное состояние, но наряду с орошением является также решающим фактором улучшения водного и воздушного режимов пахотного слоя почвы [7,8]. Дело в том, что для получения дружных всходов яровых

культур уровень содержания продуктивной влаги в пахотном слое 0...20 см должен составлять 25...30 мм. По современной классификации ресурсы доступной влаги в пахотном слое оценивают следующим образом: более 40 мм – хорошие, 40...20 мм – удовлетворительные и менее 20 мм – неудовлетворительные.

Кроме этого, распределение запасов влаги должно соответствовать биологическим потребностям посевов: для растений с мочковатой корневой системой важно её наличие в пахотном слое, а со стержневой – по всему корнеобитаемому горизонту.

Целью исследований явилось изучение запасов общей и продуктивной влаги при разных способах обработки северных чернозёмов по слоям почвы.

Исследования выполнены на оподзоленных чернозёмных почвах в ООО «Исток» Орловской области, расположенном в северной части Центрально-Чернозёмной зоны. Почвенные пробы отбирали по трем фоновым обработкам после уборки озимой пшеницы, которая будет предшественником для подсолнечника в 2026 г.

Установлено, что минимальное значение абсолютной влажности почвы как в пахотном (27,00%), так и в подпахотном (28,74%) слоях выявлено на контрольном варианте.

Глубокое безотвальное рыхление обеспечивает достоверное увеличение абсолютной влажности почвы относительно контроля (+2,02% при $НСР_{05} = 1,41\%$) в пахотном слое, тогда как другие приёмы обработки определяют лишь её положительную тенденцию.

Дополнительное рыхление почвы всеми изученными видами сельскохозяйственных орудий недостоверно увеличивает запас продуктивной влаги в корнеобитаемом горизонте 0...40 см, поскольку он повышается на +10,2...+37,3 т/га, что при $НСР_{05} = 68,4$ т соответствует ошибке опыта.

Запас продуктивной влаги в пахотном слое 0...20 см на фоне всех изученных приёмов обработки соответствовал оптимальному значению, поскольку превышал значение 40 мм. Тем не менее, максимальный уровень данного показателя (+3,7 мм к контролю при $НСР_{05} = 2,5$ мм) установлен на фоне комбинированной безотвальной обработки на глубину 27...30 см.

Исследования выполнены по общепринятой методике для специалистов агроинженерного профиля в изложении В.Н. Степанова и И.И. Костецкого [9].

Общий запас влаги находили по формуле:

$$W = A \cdot d \cdot h \text{ (т/га)},$$

где: W – общий запас влаги, т/га; A – абсолютная влажность почвы, %; d – плотность (объёмная масса) почвы, г/см³; h – мощность изучаемого слоя почвы, см.

Запас продуктивной влаги определяли по формуле:

$$W_{\text{п}} = (A - k \cdot A_{\text{г}}) \cdot d \cdot h \text{ (т/га)},$$

где: $W_{\text{п}}$ – запас продуктивной влаги, т/га; A – абсолютная влажность почвы, %; k – коэффициент завядания, $k = 1,34$; $A_{\text{г}}$ – гигроскопическая влажность, $A_{\text{г}} = 5\%$; d – плотность (объёмная масса) почвы, г/см³; h – мощность изучаемого слоя почвы, см.

Статистическая обработка данных проведена методом дисперсионного анализа в изложении Б.А. Доспехова [10].

Изучено влияние разных по антропогенной нагрузке приёмов обработки на абсолютную влажность почвы и наличие в ней запасов общей и продуктивной влаги после уборки озимой пшеницы по состоянию на 1.10.2025 года.

Жизнедеятельность растительного организма тесно связана с содержанием в пахотном слое доступной влаги, начиная от посева и до конца вегетационного периода. Влажность почвы оказывает существенное влияние на степень сопротивления рабочим органам сельскохозяйственных машин при её обработке, способность крошиться, а также на интенсивность химических и микробиологических процессов, протекающих в ней. По этой причине одной из важнейших проблем современного земледелия является регулирование водного режима корнеобитаемого горизонта для создания приемлемого соотношения почвенного раствора и почвенного воздуха в нём.

Важнейшим показателем водного режима почвы является значение абсолютной влажности – это содержание воды в процентах к массе абсолютно сухой почвы. Для большинства почв оптимальным параметром абсолютной влажности является 19...22%, что соответствует 70...80% в пересчете на НВ – наименьшее количество воды, которое остается в почве после ее полного увлажнения и свободного стекания избыточной влаги. Установлено, что минимальная абсолютная влажность почвы в посевном слое 0...10 см установлена на контрольном варианте – 27,14%, что на - 1,54% ниже, чем на фоне поверхностной обработки, на 1,39% – чем при отвальной вспашке и на 1,41% – чем от применения комбинированной безотвальной обработки при $НСП_{05} = 1,40\%$ (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Запас общей и продуктивной влаги по слоям почвы при разных способах обработки в ООО «Исток» Орловской области (2025 г.)

№ п/п	Способ обработки	Слой почвы, см	Абсолют- ная влаж- ность, %	Запас общей влаги		Запас продуктивной влаги	
				мм	т/га	мм	т/га
1	Контроль (без обработки)	0–10	27,14	30,4	304,0	22,9	228,9
		10–20	26,86	31,7	316,9	23,8	237,9
		20–30	28,56	35,7	357,0	27,3	273,3
		30–40	28,92	37,6	376,0	28,9	288,9
2	Минимальная обработка на 7–10 см	0–10	28,68	30,4	304,0	23,3	233,0
		10–20	27,30	33,3	333,1	25,1	251,3
		20–30	28,27	35,9	359,0	27,4	273,9
		30–40	27,88	36,8	368,0	28,0	279,6
3	Отвальная вспашка на 18–20 см	0–10	28,53	31,1	311,0	23,8	237,9
		10–20	28,21	33,0	330,1	25,2	251,7
		20–30	28,87	35,8	358,0	27,5	274,9
		30–40	28,09	36,8	368,0	28,0	280,2
4	Комбинированная обработка на 27–30 см	0–10	28,55	31,4	314,1	24,0	240,4
		10–20	29,48	34,2	342,0	26,4	264,2
		20–30	29,10	35,5	355,0	27,3	273,3
		30–40	29,69	37,7	377,1	29,2	292,0
	НСР ₀₅	0–10	1,40	1,5	15,4	1,2	11,8
		10–20	1,41	1,7	16,5	1,3	12,9
		20–30	1,43	1,8	17,9	1,4	13,7
		30–40	1,44	1,9	18,6	1,4	14,3

В слое почвы 10...20 см минимальная абсолютная влажность также выявлена на контроле – 26,86%, которая соответственно на 0,44%; 1,35% и 62% меньше, чем на фоне изученных приёмов обработки при НСР₀₅ = 1,41%. Следовательно, рыхление пахотного слоя 0...20 см всеми способами

способствует большему впитыванию и накоплению в нем влаги, чем уплотненная почва контрольного варианта. Однако достоверное увеличение абсолютной влажности почвы отмечено только на фоне безотвальной комбинированной обработки.

В подпахотном горизонте 20...40 см существенных различий по абсолютной влажности почвы между контрольным вариантом и приёмами обработки не установлено. Тем не менее наименьшее значение данного показателя свойственно минимальной обработке (28,08%), а наибольшее – комбинированной (29,40%), по сравнению с контролем (28,74%). Таким образом, основная обработка почвы комбинированным агрегатом на глубину 27...30 см особенно четко способствует увеличению абсолютной влажности северных черноземов в подпахотном слое, тогда как другие приемы определяют тенденцию ее снижения относительно контрольного варианта. В данном случае глубокое безотвальное рыхление следует рассматривать как влагосберегающий прием в системе осенней обработки почвы.

Максимальный запас общей влаги в пахотном слое установлен на фоне комбинированной безотвальной обработки (+3,5 мм к контролю при $НСП_{05} = 3,2$ мм), в то время как дискование и отвальная вспашка обеспечивают лишь положительную тенденцию (соответственно +1,6 и +2,0 мм к стандарту).

Общий запас водных ресурсов в корнеобитаемом горизонте 0...40 см на контрольном варианте составляет 1353,9 т/га, что меньше, чем при поверхностной обработке дисковыми орудиями на 10,2 т/га, по сравнению с отвальной вспашкой – на 13,2 т/га и относительно комбинированной обработки – на 34,3 т/га при $НСП_{05} = 68,4$ т/га. Таким образом, дополнительное рыхление черноземной почвы всеми видами сельскохозяйственных орудий увеличивает запас общей влаги в ней, однако, как по отношению к стандарту, так и между способами обработки существенных различий не установлено, хотя наибольший запас обеспечивает безотвальное комбинированное рыхление.

Установлено, что в конце вегетационного периода 2025 года запас продуктивной влаги на фоне всех изученных приёмов обработки как в пахотном, так и в подпахотном слоях почвы соответствовал оптимальному уровню увлажнения. При этом наибольшее накопление продуктивной влаги в слое 0...20 см обнаружено с применением глубокого безотвального рыхления комбинированным агрегатом (50,4 мм), что выше контрольного варианта на 3,7 мм при $НСП_{05} = 2,5$ мм. Преимущество минимальной обработки по формированию запасов продуктивной влаги в пахотном слое

составляет +1,7 мм, а отвальной вспашки +2,3 мм, что обеспечивает лишь положительную тенденцию ее увеличения по сравнению с контролем.

В подпахотном слое 20...40 см только комбинированная обработка обеспечивает незначительное преимущество по накоплению запасов продуктивной влаги (+0,3 мм к стандарту), тогда как на фоне минимальной обработки она снизилась на 0,8 мм, а с применением отвальной вспашки – на 0,7 мм, что во всех случаях является статистической погрешностью опыта при $НСР_{05} = 2,8$ мм.

Общий запас продуктивной влаги в корнеобитаемом горизонте 0...40 см на контрольном варианте составил 1029,0 т/га, что меньше, чем при минимальной обработке, на 8,8 т/га; по сравнению с отвальной вспашкой ... на 15,7 т/га и относительно глубокого безотвального рыхления комбинированным агрегатом – на 40,9 т/га, что всегда является достоверной разницей при $НСР_{05} = 52,7$ т.

Следовательно, все виды обработки способствуют увеличению суммарных запасов продуктивной влаги в корнеобитаемом горизонте оподзоленных чернозёмов, что особенно прослеживается в посевном слое 0...10 см. Однако в подпахотном горизонте 20...40 см только комбинированная обработка обеспечивает несущественное преимущество (+3,1 т/га) запасов продуктивной влаги, тогда как другие приемы способствовали ее снижению на -8,7 т/га по фону минимальной обработки и на - 7,1 т/га с применением отвальной вспашки.

Выводы

1. Наименьшая абсолютная влажность пахотного слоя 0...20 см у чернозёмных оподзоленных почв выявлена на контрольном варианте – 27,00%, в то время как на фоне минимальной обработки она повышалась на + 0,99%, с применением отвальной вспашки – на + 1,37%, а при глубоком безотвальном рыхлении комбинированным агрегатом – на + 2,02%, что при $НСР_{05} = 1,41\%$ в последнем случае является достоверным увеличением.

2. В подпахотном горизонте 20...40 см существенных различий по абсолютной влажности почвы между контролем и изученными приёмами обработки не установлено, однако наибольшее значение данного показателя характерно для глубокого безотвального рыхления (+ 0,66% к стандарту).

3. Дополнительное рыхление почвы всеми видами сельскохозяйственных орудий недостоверно увеличивает запас общей влаги в корнеобитаемом горизонте 0...40 см чернозёмных почв, составивший относительно контроля + 10,2 т/га при минимальной обработке, + 13,2 т/га

по сравнению с отвальной вспашкой и + 34,3 т/га с применением комбинированного агрегата ($НСП_{05} = 68,4$ т).

4. Запас продуктивной влаги в конце вегетационного периода 2025 года с обильными осенними осадками соответствовал оптимальному значению как в пахотном, так и в подпахотном слоях, поскольку на фоне изученных приёмов обработки он превышал значение 40 мм. При этом наибольшее накопление доступной влаги в слое 0...40 см установлено на фоне комбинированной обработки: 106,9 мм против 102,9 мм или 1069,9 т/га против 1029,0 т/га на контроле.

Список использованных источников

1. Шевченко В.А., Соловьёв А.М., Бондарева Г.И., Попова Н.П. Курс лекций по технологии растениеводства на богарных и орошаемых землях: учебное пособие. М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», 2020. – 347 с.
2. Кирейчева Л.В., Шевченко В.А., Юрченко И.Ф. Оценка эффективности использования сельскохозяйственных угодий в агропроизводстве // Аграрная наука. 2021. № 9. – С. 135-139 (19).
3. Бородычёв В.В., Лытов М.Н. Алгоритм решения задач управления водным режимом почвы при орошении сельскохозяйственных культур // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. - №1. – С. 8-11.
4. Матюк Н.С., Цвирко Ф.А., Шевченко В.А. Оптимальные параметры пахотного слоя почвы и способы их поддержания в современном земледелии // Плодородие. 2005. №1 (22). – С. 33-35. (29).
5. Новиков С.А., Шевченко В.А., Соловьёв А.М., Легеза В.Н. Настольная книга для фермеров Нечерноземной зоны: монография. ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», 2018. – С. 66-71.
6. Шевченко В.А., Кирейчева Л.В. Комплексная мелиорация – основа технологического обеспечения продовольственной безопасности и сохранения плодородия почв // Природообустройство. 2025. № 1. С. 6-12.
7. Шевченко В.А. Современное состояние выбывших из оборота мелиорированных земель и перспективы их освоения. Москва. 2021. – 410 с.
8. Степанов В.Н. Костецкий И.И. Практикум по основам агрономии: учебное пособие для студентов агроинженерных специальностей. М.: Колос, 1981. – 240 с.
9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., дополненное и переработанное – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

References

1. Shevchenko V.A., Solovyov A.M., Bondareva G.I., Popova N.P. A course of lectures on crop production technology on rain-fed and irrigated lands: a textbook. Moscow: FSBI "VNIIGiM named after A. N. Kostyakov", 2020. - 347 p.
2. Kireicheva L.V., Shevchenko V.A., Yurchenko I.F. Evaluation of the efficiency of agricultural land use in agricultural production // Agrarian Science. 2021. No. 9. pp. 135-139 (19).

3. Borodychev, V.V., Lytov, M.N. Algorithm for solving problems of managing the water regime of the soil during irrigation of agricultural crops // Melioration and water management. – 2015. - No. 1. – pp. 8-11.
4. Matyuk N.S., Tsvirko F.A., Shevchenko V.A. Optimal parameters of the arable soil layer and ways to maintain them in modern agriculture. 2005. No. 1 (22). pp. 33-35. (29).
5. Novikov S.A., Shevchenko V.A., Solovyov A.M., Legeza V.N. A table book for farmers of the Non-Chernozem zone: monograph. Kostyakov VNIIGiM, 2018, pp. 66-71.
6. Shevchenko V.A., Kireicheva L.V. Integrated land reclamation is the basis for technological food security and soil fertility preservation. 2025. No. 1. pp. 6-12.
7. Shevchenko V.A. The current state of reclaimed lands and prospects for their development. Moscow. 2021. – 410 p.
8. Stepanov V.N. Kostetsky I.I. Practicum on the basics of agronomy: a textbook for students of agricultural engineering specialties. Moscow: Kolos, 1981. 240 p.
9. Dospekhov B.A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). 5th ed., supplemented and revised, Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.

2.2 ФИТОМЕЛИОРАЦИЯ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВЕННОЙ СРЕДЫ

Восстановление плодородия залежных земель является одной из актуальных задач современного сельского хозяйства Нечерноземной зоны РФ [1,2].

Дерново-подзолистые почвы отличаются низким природным плодородием, повышенной кислотностью и дефицитом гумуса, обусловленными вымыванием оснований, аккумуляцией ионов водорода и алюминия, а также особенностями почвообразовательных процессов в условиях избыточного увлажнения [3,4]. В период залежи в дерново-подзолистых почвах протекают процессы накопления органического вещества, улучшения структурных характеристик и активации жизнедеятельности микроорганизмов [5]. Несмотря на это, повышенная кислотность зачастую сохраняется, что требует применения агромелиоративных мероприятий, направленных на оптимизацию реакции почвенной среды [6].

Для оптимизации кислотности традиционно применяется известкование, однако в современных условиях все большее значение приобретают экологически безопасные методы: использование органических удобрений и фитомелиорация путем выращивания сидератов и бобовых [7]. Данные приемы повышают уровень органического вещества, улучшают физические свойства почвы, стимулируют биологическую активность и нейтрализуют кислотность благодаря образованию гумусовых веществ [8,9].

Изучение влияния органических добавок удобрений и фитомелиораторов на восстановление залежных дерново-подзолистых почв имеет важное научное и прикладное значение, способствуя созданию устойчивых методов повышения плодородия и эффективности аграрного производства.

Цель исследования – оценить эффективность фитомелиорации залежных дерново-подзолистых почв с использованием многолетних злаково-бобовых трав и органических удобрений для регулирования кислотности почвенной среды.

В задачи исследования входило:

1. Провести агрохимическую характеристику почвы до начала эксперимента.
2. Изучить влияние возделывания многолетних трав и органических удобрений на изменение кислотности почвы.
3. Оценить динамику актуальной и обменной кислотности пахотного слоя.
4. Определить оптимальные дозы органических удобрений для стабилизации реакции почвенной среды.

Полевой опыт проводился в 2020–2022 гг. на залежном участке. Анализ почвы перед началом опыта выполнен в аккредитованной лаборатории ООО «Мещерский научно-технический центр».

Перед закладкой полевого опыта в пахотном слое почвы (0...20 см) были определены следующие агрохимические показатели (табл. 2.2).

Таблица 2.2 – Агрохимические показатели почвы и методы их определения

Показатель	Значение	Метод определения (ГОСТ)
рН водной вытяжки	6,6±0,1	ГОСТ 26423–85 Почвы. Методы определения рН водной вытяжки
рН солевой вытяжки (KCl)	5,2±0,1	ГОСТ 26483–85 Почвы. Методы определения рН солевой вытяжки
Органическое вещество, %	3,5±0,6	ГОСТ 26213–91 Почвы. Методы определения органического вещества
Подвижный фосфор (P ₂ O ₅), мг/кг	238±50	ГОСТ 26207–91 Почвы. Методы определения подвижных соединений фосфора и калия (по Кирсанову)
Подвижный калий (K ₂ O), мг/кг	108±16	ГОСТ 26207–91 Почвы. Методы определения подвижных соединений фосфора и калия (по Кирсанову)
Общий азот, %	0,19	ГОСТ 26107–84 Почвы. Метод определения общего азота
Нитраты (NO ₃ ⁻), мг/кг	7,9±0,5	ГОСТ 26951–86 Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом

В качестве фитомелиорантов использовалась многолетняя злаково-бобовая травосмесь.

Ботанический состав травосмеси сформирован по злаково-бобовому типу при соотношении компонентов 60/40, что является оптимальным для фитомелиорации дерново-подзолистых почв. Злаковый компонент представлен овсяницей луговой (*Festuca pratensis* L.) сорта Лихерольд, кострцом безостым (*Bromus inermis* L.) сорта Моршанский 760 и тимофеевкой луговой (*Phleum pratense* L.) сорта Лишка (по 20% каждого вида). Бобовая часть включает лядвенец рогатый (*Lotus corniculatus* L.) сорта Солнышко и клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) сорта ТРИО (по 20%). Преобладание злаков обеспечивает формирование плотного дернисто-корневого покрова и улучшение структуры почвы, тогда как бобовые культуры благодаря симбиозу с клубеньковыми бактериями рода *Rhizobium* способствуют биологической фиксации азота.

В ходе опыта изучались следующие варианты: 1. Контроль (без удобрений), 2. Подстилочный индюшиный помет в дозе – 15 т/га (П15), 3. Подстилочный индюшиный помет в дозе – 30 т/га (П30).

Исследования показали, что применение фитомелиорации с использованием многолетних трав и органических удобрений по-разному влияет на актуальную кислотность почвы (табл. 2.3).

Таблица 2.3 - Актуальная кислотность почвы (рН водной вытяжки) в пахотном слое (0...20 см)

Вариант опыта	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Контроль	5,8 ±0,1	6,2 ±0,1	5,2 ±0,1
П15	6,1 ±0,1	6,1 ±0,1	6,0 ±0,1
П30	6,0 ±0,1	6,5 ±0,1	5,4 ±0,1

Наиболее стабильные значения рН отмечены в варианте П15, где показатель варьировался в пределах 6,0...6,1 в течение трех лет.

На контрольном варианте колебания кислотности составили 1,4 единицы, что свидетельствует о большей нестабильности почвенной среды без применения агротехнических мероприятий.

Таким образом, внесение умеренных доз органических удобрений способствует поддержанию оптимальной реакции почвенной среды.

Анализ обменной кислотности показал тенденцию к постепенному подкислению почвы в вариантах опыта с внесением органических удобрений (табл. 2.4).

Таблица 2.4 - Обменная кислотность почвы (pH_{KCl})

Вариант опыта	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Контроль	5,1 ±0,1	5,3 ±0,1	4,6 ±0,1
П15	5,2 ±0,1	5,3 ±0,1	5,2 ±0,1
П30	6,0 ±0,1	5,5 ±0,1	4,8 ±0,1

В контрольном варианте изменение составило 0,6 единицы. В вариантах с применением органических удобрений в дозе 15 т/га процесс подкисления протекал значительно медленнее, чем при использовании дозы 30 т/га, где на третий год исследований почва по степени кислотности соответствовала среднекислым почвам.

Выводы

1. Применение органических удобрений оказывает существенное влияние на динамику кислотности почвы и состояние почвенной среды.
2. Наиболее стабильные показатели реакции почвенной среды отмечены при внесении органических удобрений в дозе 15 т/га.
3. Использование повышенных доз органических удобрений (30 т/га) приводит к более выраженному подкислению почвы.

Полученные результаты полевого опыта согласуются с результатами ряда исследований, указывающих на то, что внесение органических удобрений без дополнительного известкования может приводить к постепенному подкислению дерново-подзолистых почв.

В то же время использование многолетних травосмесей способствует улучшению структуры почвы, увеличению содержания органического вещества и активизации микробиологических процессов, что положительно влияет на устойчивость почвенной среды.

Таким образом, комплексное применение фитомелиорации и умеренных доз органических удобрений является эффективным инструментом восстановления плодородия залежных земель Нечерноземной зоны РФ.

Список использованных источников

1. Кирейчева, Л.В. Состояние пахотных земель Нечерноземной зоны Российской Федерации и основные направления повышения плодородия почв / Л. В. Кирейчева, В. А. Шевченко // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2020. – № 2. – С. 12-16. – DOI 10.24411/2587-6740-2020-12021. – EDN PLTIOX.
2. Влияние многолетних трав как фитомелиорантов на плодородие орошаемых тёмно-каштановых почв в Заволжье / Е. П. Денисов, И. В. Чепрасов, Н. П. Молчанова [и др.] // Нива Поволжья. – 2008. – № 3(8). – С. 9-11. – EDN JSILET.
3. Наумов, В.Д. Генетическая и классификационная оценка дерново-подзолистых почв / В.Д. Наумов // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 6. – С. 17-25. – EDN JSFHUK.

4. Яковченко, М.А. Воспроизводство плодородия почв: исследование влажности и реакции почвенной среды / М. А. Яковченко, М. С. Дремова // Вестник Курганской ГСХА. – 2012. – № 4(4). – С. 23-25. – EDN PYNUFH.
5. Басевич, В.Ф. Залежные земли: историческая справка и современные аспекты (обзор) / В. Ф. Басевич, Н. А. Куликова, В. В. Фисенко // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2025. – Т. 80, № 2. – С. 5-21. – DOI 10.55959/MSU0137-0944-17-2025-80-2-5-21. – EDN IKNCKH.
6. Попова, Н.П. Влияние системы удобрения и предшественников на динамику кислотности дерново-подзолистых почв при введении их в сельскохозяйственный оборот / Н. П. Попова, В. А. Шевченко, А. М. Соловьев // Плодородие. – 2020. – № 6(117). – С. 3-6. – DOI 10.25680/S19948603.2020.117.01. – EDN QSMIOT.
7. Сычев, В.Г. Современные проблемы и перспективы химической мелиорации кислых почв / В. Г. Сычев, Н. И. Аканова // Плодородие. – 2019. – № 1(106). – С. 3-7. – DOI 10.25680/S19948603.2019.106.01. – EDN YZAHON.
8. Буряк, С.М. Влияние органических гранулированных удобрений на продуктивность и качество многолетних трав / С. М. Буряк, О. В. Черникова, Ю. А. Мажайский // АгроЭкоИнфо. – 2025. – № 5(71). – DOI 10.51419/202155541. – EDN TWQVCH.
9. Патент № 2771225 С1 Российская Федерация, МПК C05F 3/00. способ повышения плодородия почвы при возделывании сельскохозяйственных культур: № 2021122971: заявл. 29.07.2021: опубл. 28.04.2022 / С. М. Буряк, Ю. А. Мажайский, О. В. Черникова, М.И. Голубенко; заявитель "ООО "МЕЩЕРСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР". – EDN UMBITN.

References

1. Kireicheva, L.V. The state of arable lands in the Non-Chernozem zone of the Russian Federation and the main directions for increasing soil fertility / L. V. Kireicheva, V.A. Shevchenko // International Agricultural Journal. 2020. No. 2. pp. 12-16. – DOI 10.24411/2587-6740-2020-12021. – EDN PLTIOX.
2. The influence of perennial grasses as phytomeliorants on the fertility of irrigated dark chestnut soils in the Trans-Volga region / E. P. Denisov, I. V. Cheprasov, N. P. Molchanova [et al.] // Field of the Volga region. – 2008. – № 3(8). – Pp. 9-11. – EDN JSILET.
3. Naumov, V.D. Genetic and classification assessment of sod-podzolic soils / V. D. Naumov // Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy. – 2018. – № 6. – pp. 17-25. – EDN JSFHUK.
4. Yakovchenko, M.A. Reproduction of soil fertility: a study of moisture and reaction of the soil environment / М. А. Yakovchenko, М. S. Dremova // Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. – 2012. – № 4(4). – Pp. 23-25. – EDN PYNUFH.
5. Basevich, V.F. Fallow lands: historical background and modern aspects (review) / V.F. Basevich, N. A. Kulikova, V. V. Fisenko // Bulletin of the Moscow University. Series 17: Soil Science. – 2025. – Vol. 80, No. 2. – pp. 5-21. – DOI 10.55959/MSU0137-0944-17-2025-80-2-5-21. – EDN IKNCKH.
6. Popova, N.P. The influence of the fertilizer system and precursors on the dynamics of the acidity of sod-podzolic soils when they are introduced into agricultural circulation / N.P. Popova, V. A. Shevchenko, A.M. Soloviev // Fertility. – 2020. – № 6(117). – Pp. 3-6. – DOI 10.25680/S19948603.2020.117.01. – EDN QSMIOT.

7. Sychev, V.G. Modern problems and prospects of chemical melioration of acidic soils / V.G. Sychev, N. I. Akanova // *Fertility*. – 2019. – № 1(106). – Pp. 3-7. – DOI 10.25680/S19948603.2019.106.01. – EDN YZAHON.
8. Buryak, S.M. The influence of organic granular fertilizers on the productivity and quality of perennial grasses / S. M. Buryak, O. V. Chernikova, Yu. A. Mazhaisky // *AgroEcoInfo*. – 2025. – № 5(71). – DOI 10.51419/202155541. – EDN TWQBCH.
9. Patent No. 2771225 C1 Russian Federation, IPC C05F 3/00. method of increasing soil fertility in the cultivation of crops: No. 2021122971: application 07/29/2021: published 04/28/2022 / S.M. Buryak, Yu. A. Mazhaisky, O. V. Chernikova, M. I. Golubenko; applicant "LLC MESHCHERSKY SCIENTIFIC AND TECHNICAL CENTER". – EDN UMBITN.

2.3 ПРИМЕНЕНИЕ ФОСФОГИПСА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДородия почв, УРОЖайности и качества ПРОДУКЦИИ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Астраханская область, находясь в зоне рискованного земледелия с аридным климатом, сталкивается с серьезными вызовами в области продовольственной безопасности, усугубляемыми глобальными климатическими изменениями. Высокие летние температуры и дефицит осадков приводят к необходимости капельного орошения, что, в свою очередь, провоцирует процессы вторичного засоления и осолонцевания почв [1, 4]. Формирование солонцового горизонта с высоким содержанием обменного натрия резко ухудшает водно-физические (бесструктурность, низкая водопроницаемость) и агрохимические (высокая щелочность) свойства почв, что токсично для большинства сельскохозяйственных культур, включая томат – одну из стратегически важных овощных культур региона.

Большие концентрации натрия угнетают растения, делают почву бесструктурной и малопригодной для обработки. Большое количество натрия и магния в почвенно-поглощающем комплексе отрицательно сказывается на микробиологической активности, способствует диспергированию почвы, ее сильному набуханию и заплыванию при увлажнении, уплотнению и растрескиванию на крупные прочные отдельности при высушивании [2]. При внесении в такие почвы фосфогипса происходит замена ионов натрия на ионы кальция с образованием сульфата натрия, который легко вымывается, что способствует рассолению почв. В результате гипсования устраняется щелочная реакция солонцовых почв, улучшаются физические, физико-химические и биологические свойства почвы, повышается ее плодородие [3, 6].

Помимо функций мелиоранта, фосфогипс является ценным комплексным минеральным удобрением [5, 9]. В его составе присутствуют

кальций, фосфор, сера и другие микроэлементы, способствующие увеличению урожайности сельскохозяйственных культур. Фосфор и его соединения играют важнейшую роль в жизнедеятельности растений, наряду с азотом, калием, кислородом, углеродом, водой. Фосфогипс, получаемый из природных руд, содержит в себе практически всю таблицу элементов Д. И. Менделеева (Ca, S, Fe, Mg, Sr, Cd, Pb, La, Ce, Ti, Mn, Cr, Ba, Cu, As, F, Sr, Si и др.), не требует доработки и готов к применению в качестве комплексного удобрения [7, 8].

В этой связи поиск и применение эффективных и экономически оправданных технологий мелиорации приобретает первостепенное значение. Одним из перспективных направлений является химическая мелиорация с использованием фосфогипса – крупнотоннажного побочного продукта производства фосфорной кислоты и удобрений из апатитов и фосфоритов. Его применение позволяет не только решить проблему утилизации промышленных отходов, но и эффективно бороться с солонцеватостью почв.

Целью данного исследования являлась оценка влияния различных доз фосфогипса на плодородие солонцеватых почв и продуктивность томата в условиях Астраханской области.

В задачи исследования входило:

- провести оценку исходных агрохимических и физико-химических свойств почвы экспериментального участка;
- изучить влияние различных доз фосфогипса на динамику свойств почвы, а также на рост, развитие и продуктивность культуры томата;
- дать оценку качеству полученной продукции на основании биохимического анализа плодов;
- рассчитать экономическую эффективность применения фосфогипса в технологии возделывания томата в условиях конкретного региона.

Полевой опыт проводился в 2021–2023 годах на опытном поле ВНИИООБ – филиала ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» (Астраханская область). Рельеф участка плоский, ровный. Почва аллювиально-луговая, по гранулометрическому составу – среднесуглинистая, слабозасоленная, засоление сульфатно-хлоридного типа. До внесения фосфогипса реакция среды (pH) в пахотном слое слабощелочная и составляла 7,7. Содержание элементов минерального питания в пахотном слое почвы перед закладкой полевого опыта составляло: гумус – 1,98%, азот легкогидролизуемый – 59,0 мг/кг почвы, фосфор подвижный – 59,5 мг/кг, калий подвижный –

279,3 мг/кг, кальций обменный - 45,8 ммоль/100 г почвы, сера подвижная – 41,2 мг/кг, обменный натрий - 1,92 ммоль/100 г почвы.

На вариантах опыта применялось фоновое внесение минеральных удобрений: нитроаммофоска (15:15:15) - 500 кг/га в физическом весе. Полив капельным орошением, оросительная норма – 6600 м³/га.

Схема опыта включала Контроль - без применения фосфогипса и 3 варианта с применением фосфогипса в различных дозах (от 1,5 до 4,5 т/га).

Схема опыта:

Контроль - без фосфогипса, с фоном минеральных удобрений N₁₂₀P₆₀K₁₈₀;

Вариант 1. Фосфогипс 1,5 т/га + фон минеральных удобрений N₁₂₀P₆₀K₁₈₀;

Вариант 2. Фосфогипс 3,0 т/га + фон минеральных удобрений N₁₂₀P₆₀K₁₈₀;

Вариант 3. Фосфогипс 4,5 т/га + фон минеральных удобрений N₁₂₀P₆₀K₁₈₀.

Внесение фосфогипса в почву производилось весной, перед закладкой опыта, с помощью разбрасывателя минеральных удобрений РУН-0,8К с заделкой на глубину пахотного слоя почвообрабатывающей фрезой Gryza-1,8. Повторность вариантов 4-х кратная, размещение систематическое. Площадь опытной делянки 112 м², учетной делянки 56 м², предшественник – залежь.

Применение фосфогипса оказало выраженное мелиоративное действие на почву. В основе механизма лежит реакция обмена, где ионы кальция (Ca²⁺) из дигидрата сульфата кальция (CaSO₄·2H₂O) вытесняют ионы натрия (Na⁺) из почвенного поглощающего комплекса (ППК).

Образовавшийся сульфат натрия, будучи легкорастворимой солью, вымывается поливными водами за пределы корнеобитаемого слоя.

Исследованиями установлено, что к концу вегетации растений происходила сезонная динамика уплотнения почвы на контроле и изучаемых вариантах опыта и повышение плотности ее сложения на 0,19...0,33 т/м³ (на 16,1...28,2%) по отношению к весенним значениям, что обусловлено особенностями гидротермического режима и тяжелым механическим составом зональных почв. Применение фосфогипса в опыте в изучаемых дозах (1,5...4,5 т/га) способствовало улучшению агрофизических показателей почвы и снижению динамики ее уплотнения к концу вегетации растений на вариантах с фосфогипсом на 0,06...0,13 т/м³ (на 4,0...8,7%), в сравнении с контролем без его применения. Плотность сложения почвы весной, перед закладкой полевого опыта с фосфогипсом составляла 1,17...1,19 т/м³ и находилась в диапазоне оптимальных значений этого показателя для суглинистых зональных почв (рисунок 2.1).

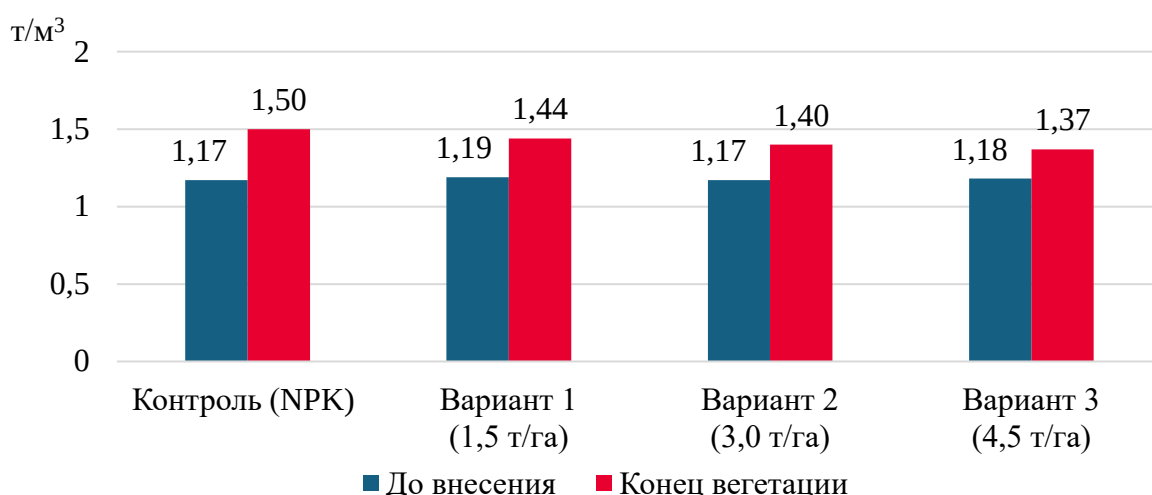


Рисунок 2.1 – Плотность сложения почвы в полевом опыте с фосфогипсом, т/м³, среднее за 2021–2023 гг.

Наиболее низкие и близкие к оптимальным, по отношению к Контролю (на 8,7%) и вариантам опыта с меньшими (1,5...3,0 т/га) дозами внесения фосфогипса (на 4,0...6,7%), значения плотности сложения почвы к концу вегетации растений (1,37 т/м³) отмечены на Варианте 3 с дозой применения фосфогипса 4,5 т/га.

Применение фосфогипса в опыте способствовало повышению содержания в почве элементов минерального питания растений.

В процессе вегетации томата происходило потребление элементов минерального питания для формирования урожая. К концу вегетации растений на Контроле без фосфогипса отмечено снижение содержания в почве легкогидролизуемого азота - на 10,8 мг/кг (на 18,9%), подвижного фосфора - на 11,6 мг/кг (на 19,7%), обменного кальция – на 4,1 ммоль/100 г (на 8,9%), подвижной серы - на 3,9 мг/кг (на 9,5%), подвижного калия - на 3,9 мг/кг (на 1,4%), обменного натрия – на 0,08 моль/100 г (на 4,2%) (таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Содержание элементов минерального питания в почве в полевом опыте с фосфогипсом, среднее за 2021–2023 гг.

Варианты	Гумус, %	N, мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	Ca, моль/100 г	S, мг/кг	Na, моль/100 г
Исходное содержание	1,98	59,0	59,5	279,3	45,8	41,2	1,92
перед уборкой культуры							
Контроль	1,96	48,2	47,9	251,1	41,7	37,3	1,84
Вариант 1 (1,5 т/га ФГ)	2,04	50,5	51,9	239,3	49,6	43,5	1,66
Вариант 2 (3,0 т/га ФГ)	2,08	52,4	55,8	237,2	53,6	57,8	1,42
Вариант 3 (4,5 т/га ФГ)	2,03	54,8	59,2	226,9	62,5	69,4	1,18

На Вариантах с внесением фосфогипса в дозах 1,5; 3,0; 4,5 т/га на фоне NPK к концу вегетации растений отмечено увеличение, в сравнении с контролем, содержания в почве легкогидролизуемого азота - на 2,3...6,6 мг/кг (на 4,7...13,6%), подвижного фосфора - на 4,0...11,3 мг/кг (на 8,3...23,5%), обменного кальция – на 7,9...20,8 ммоль/100 г (на 18,9...49,8%), подвижной серы – на 6,2...32,1 мг/кг (на 16,6...86,0%) и снижение содержания подвижного калия - на 11,8...24,2 мг/кг (на 4,6...9,6%) и обменного натрия - на 0,18...0,66 ммоль/100 г (на 10,8...55,9%).

Наиболее высокую степень обеспеченности почвы элементами минерального питания к концу вегетации растений по легкогидролизуемому азоту (54,8 мг/кг), подвижному фосфору (59,2 мг/кг), обменному кальцию (62,5 ммоль/100 г), подвижной сере (69,4 мг/кг) и низкую - по подвижному калию (226,9 мг/кг) и обменному натрию (1,18 ммоль/100 г) обеспечило внесение фосфогипса в дозе 4,5 т/га совместно с фоном NPK (N₁₂₀P₆₀K₁₈₀).

Результатами биометрических измерений в основные фазы роста и развития отмечен интенсивный линейный рост главного стебля растений томата, достигающий наибольших значений к фазе плодоношения на всех изучаемых вариантах опыта (таблица 2.6).

Таблица 2.6 – Биометрические показатели роста и развития растений томата в опыте с фосфогипсом, среднее за 2021–2023 гг.

Варианты	Длина главного стебля		Количество листьев		Количество плодов	
	м	%	шт.	%	шт.	%
фаза плодообразования						
Контроль	0,65	100,0	47	100,0	4,7	100,0
Вариант 1 (1,5 т/га ФГ)	0,66	101,5	54	114,9	4,8	102,1
Вариант 2 (3,0 т/га ФГ)	0,67	103,1	57	121,3	5,5	117,0
Вариант 3 (4,5 т/га ФГ)	0,68	104,6	60	127,7	6,3	134,0
НСР ₀₅	F _{ф.} < F _{т.}	-	2,8	-	0,3	-
фаза массового плодоношения						
Контроль	0,71	100,0	52	100,0	10,4	100,0
Вариант 1 (1,5 т/га ФГ)	0,73	102,8	58	111,5	10,5	101,0
Вариант 2 (3,0 т/га ФГ)	0,77	108,5	63	121,2	11,5	110,6
Вариант 3 (4,5 т/га ФГ)	0,79	111,3	65	125,0	11,9	114,4
НСР ₀₅	F _{ф.} < F _{т.}	-	3,2	-	0,5	-

Применение в опыте на культуре томата мелиоранта фосфогипс совместно с внесением минеральных удобрений (NPK) оказывало положительное влияние на ростовые процессы растений, увеличивая длину

главного стебля за период вегетации томата на соответствующих вариантах опыта (Варианты 1–3) на 0,02...0,08 м (на 2,8...11,3%), в сравнении с Контролем NPK без применения фосфогипса. Наибольшие значения показателя по длине главного стебля (0,79 м) и его превышение над Контролем NPK (на 11,3%) в фазу массового плодоношения томата отмечены на Варианте 3 с применением фосфогипса в дозе 4,5 т/га.

Применение фосфогипса способствовало увеличению количества листьев на растениях в период вегетации на 6...13 шт. на растение (на 11,5...25,0%) на соответствующих вариантах опыта (Варианты 1–3), в сравнении с Контролем с NPK, но без применения фосфогипса. Наибольшие значения показателя по количеству листьев на растениях (65 шт.) и его превышение над Контролем с NPK (на 25,0%) в фазу массового плодоношения томата в опыте отмечены на Варианте 3 с применением фосфогипса в дозе 4,5 т/га.

Применение мелиоранта фосфогипс на культуре томата в опыте способствовало увеличению количества плодов на растениях в период вегетации с 10,4 до 11,9 шт. на растение (на 1,0...14,4%) на соответствующих вариантах опыта (Варианты 1–3), в сравнении с Контролем с NPK, но без применения фосфогипса. Наибольшие значения показателя по количеству плодов на растении (11,9 шт.) и его превышение над Контролем с NPK (на 14,4%) в фазу массового плодоношения томата в опыте отмечены на Варианте 3 с применением фосфогипса в дозе 4,5 т/га.

Применение мелиоранта фосфогипс на культуре томата в опыте способствовало повышению средней массы плодов на растениях при учете в фазу массового плодоношения: со 153 г. - на Контроле с NPK без применения фосфогипса, до 156...168 г. (на 2,0...9,8%) - на Вариантах с применением фосфогипса в дозах 1,5...4,5 т/га. Наибольшее значение показателя по средней массе плода томата в опыте (168 г.) и его превышение над Контролем с NPK (на 9,8%) в фазу массового плодоношения культуры отмечено на Варианте 3 с применением фосфогипса в дозе 4,5 т/га (таблица 2.7).

Таблица 2.7 – Средняя масса плодов на растениях томата в опыте с фосфогипсом за 2021–2023 гг., т/га

Варианты	Средняя масса плода, г.				Прибавка	
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее	г.	%
Контроль	152	154	153	153	-	-
Вариант 1 (1,5 т/га ФГ)	158	155	155	156	3	2,0
Вариант 2 (3,0 т/га ФГ)	160	164	162	162	9	5,9
Вариант 3 (4,5 т/га ФГ)	169	166	169	168	15	9,8
НСР ₀₅	5,9	6,4	5,7	-	-	-

Урожайность является основным показателем оценки эффективности агрохимических приемов и применяемых агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур в орошаемом земледелии и овощеводстве. Применение в полевом опыте мелиоранта фосфогипс в изучаемых дозах (1,5...4,5 т/га) способствовало повышению урожайности томата, в сравнении с контролем (НРК), на 3,6...14,4 т/га (на 6,3...25,2%) (таблица 2.8).

Таблица 2.8 – Урожайность плодов томата в полевом опыте с фосфогипсом, 2021–2023 гг., т/га

Варианты	Урожайность, т/га				Прибавка	
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее	т/га	%
Контроль	67,1	58,0	46,2	57,1	-	-
Вариант 1 (1,5 т/га ФГ)	74,1	59,2	48,7	60,7	3,6	6,3
Вариант 2 (3,0 т/га ФГ)	79,6	66,4	53,8	66,7	9,6	16,8
Вариант 3 (4,5 т/га ФГ)	81,3	74,7	58,4	71,5	14,4	25,2
НСР ₀₅	3,1	3,9	3,2	-	-	-

По мере увеличения доз применения фосфогипса на Вариантах 1–3 с 1,5 до 4,5 т/га урожайность плодов томата в опыте повышалась с 60,7 до 71,5 т/га (на 17,8%). Наиболее высокая урожайность плодов томата в опыте (71,5 т/га), превысившая Контроль с НРК на 14,4 т/га (на 25,2%) отмечена на Варианте 3 с применением фосфогипса в дозе 4,5 т/га.

Оценка качества плодов томата в опыте с фосфогипсом на основе результатов лабораторного биохимического анализа продукции показала, что в среднем за годы исследований применение и увеличение доз внесения фосфогипса с 1,5 до 4,5 т/га на изучаемых вариантах опыта (Варианты 1-3) способствовало повышению содержания в плодах томата: сухого вещества – на 0,3...0,9 % (в 1,06...1,18 раза) и суммы сахаров – на 0,2...0,7% (в 1,05...1,20 раза), в сравнении с Контролем НРК без применения фосфогипса. Наибольшее содержание сухого вещества (5,9%) и суммы сахаров (4,2%) в плодах томата в опыте отмечено на Варианте 3 с применением максимальной изучаемой дозы фосфогипса 4,5 т/га (таблица 2.9).

Ценность плодов овощных культур в значительной степени определяется содержанием витаминов, в т.ч. аскорбиновой кислоты (витамин С). Аскорбиновая кислота является мощным антиоксидантом, оказывает поддержку организма в стрессовых ситуациях, усиливает устойчивость

к инфекционным заболеваниям, способствует лучшему усвоению железа, кальция, предотвращает накопление холестерина на стенках сосудов.

Таблица 2.9 – Биохимические показатели оценки качества плодов томата в опыте с фосфогипсом, среднее за 2021–2023 гг.

Варианты	Сухое вещество, %	Сумма сахаров, %	Аскорбиновая кислота, мг%
Контроль	5,0	3,5	19,2
Вариант 1 (1,5 т/га ФГ)	5,3	3,7	21,2
Вариант 2 (3,0 т/га ФГ)	5,7	3,9	19,5
Вариант 3 (4,5 т/га ФГ)	5,9	4,2	19,0

Применение мелиоранта фосфогипс на культуре томата в дозе 1,5 т/га (Вариант 1) способствовало повышению содержания аскорбиновой кислоты в плодах томата до 21,2 мг% (на 2,0 мг%) и возвращению показателя к исходным контрольным значениям (до 19,0...19,5 мг%) при увеличении доз его применения до 3,0...4,5 т/га. Наибольшие значения показателя по содержанию аскорбиновой кислоты в плодах томата в опыте (21,2 мг%) и его превышение над Контролем с NPK на 2,0 мг% отмечены на Варианте 1 с применением фосфогипса в наименьшей изучаемой дозе 1,5 т/га.

Расчет экономической эффективности агрохимиката фосфогипс в качестве химического мелиоранта и агротехнического приема повышения плодородия почв в технологии возделывания томата показал, что за счет улучшения агрофизических и агрохимических свойств почвы и повышения урожайности, качества и товарности продукции при его применении отмечено увеличение прибыли (на 70,7...269,6 тыс. руб.) и повышение рентабельности производства (на 8,2...29,7%), в сравнении с контролем. Наиболее высокий уровень рентабельности (85,1%) получен при внесении в почву агрохимиката фосфогипс в дозе 4,5 т/га (таблица 2.10).

Таблица 2.10 – Экономическая эффективность применения агрохимиката фосфогипс в технологии возделывания томата (в ценах 2024 года)

Экономические показатели	Контроль	В-1 1,5 т/га	В-2 3,0 т/га	В-3 4,5 т/га
Выход товарной продукции, т/га	53,7	57,6	63,6	68,4
Затраты, тыс. руб./га	794,7	809,4	831,9	849,9
Выручка, тыс. руб./га	1235,1	1324,8	1462,8	1573,2
Прибыль, тыс. руб./га	440,4	515,4	630,9	723,3

Экономические показатели	Контроль	В-1 1,5 т/га	В-2 3,0 т/га	В-3 4,5 т/га
Рентабельность, %	55,4	63,6	75,8	85,1
В том числе от применения агрохимиката Фосфогипс:				
- доп. урожай, т/га	-	3,9	9,9	14,7
- доп. затраты, тыс. руб./га	-	19,0	46,1	68,5
- доп. выручка, тыс. руб./га	-	89,7	227,7	338,1
- доп. прибыль, тыс. руб./га	-	70,7	181,6	269,6
- доп. рентабельность, %		8,2	20,4	29,7

Примечание: Цена реализации продукции – 23 тыс. руб./т.

Выводы. Результатами исследований по изучению эффективности применения агрохимиката Фосфогипс в технологии возделывания томата, как химического мелиоранта и агротехнического приема повышения плодородия почв, урожайности и качества продукции овощных культур в Нижнем Поволжье на аллювиальных дерново-опустыненных карбонатных почвах условиях Астраханской области установлено, что внесение фосфогипса под культуру томата в изучаемых дозах (от 1,5 до 4,5 т/га) на фоне применения минеральных удобрений (N₉₀ P₁₂₀ K₆₀):

- способствует улучшению пищевого режима и увеличению содержания в почве к концу вегетации растений легкогидролизуемого азота - на 2,3...6,6 мг/кг (на 4,7...13,6%), подвижного фосфора - на 4,0...11,3 мг/кг (на 8,3...23,5%), обменного кальция – на 7,9...20,8 ммоль/100 г (на 18,9...49,8%), подвижной серы – на 6,2...32,1 мг/кг (на 16,6...86,0%) и снижение содержания подвижного калия - на 11,8...24,2 мг/кг (на 4,6...9,6%), натрия - на 0,18...0,66 ммоль/100 г (на 10,8...55,9%);

- способствует улучшению агрофизических показателей и снижению плотности сложения почвы в динамике ее сезонного уплотнения на 0,06...0,13 т/м³ (на 4,0...8,7%), в сравнении с контролем без фосфогипса;

- оказывает положительное влияние на динамику роста и развития растений томата, увеличивает длину главного стебля на 0,02...0,08 м (на 2,8...11,2%), количества листьев на растениях томата в опыте на 6...13 шт. на растение (на 11,5...25,0%), количества плодов на растениях с 10,4 до 11,9 шт. на растение (на 0,9...14,4%), в сравнении с Контролем с NPK без применения фосфогипса;

- способствует повышению средней массы плодов на растениях до 156...168 г. (на 1,9...9,8%) на вариантах с применением фосфогипса;

- способствует повышению урожайности плодов на 3,6...14,4 т/га (на 6,3...25,2%), в сравнении с Контролем NPK без фосфогипса;

- способствует повышению содержания в плодах томата сухого вещества – на 0,3...0,9 % (в 1,06...1,18 раза) и суммы сахаров - на 0,2...0,7% (в 1,05...1,20 раза), аскорбиновой кислоты до 21,2 мг% (на 2,0 мг%) на Варианте 1 с применением фосфогипса в дозе 1,5 т/га и возвращению показателя к исходным значениям (до 19,0...19,5 мг%) при увеличении доз его применения до 3,0...4,5 т/га;

- способствует повышению агроэкономической эффективности технологии возделывания томата за счет увеличения урожайности и выхода товарной продукции (на 3,9...14,7 т/га), повышению прибыли (на 75,0...282,9 тыс. руб.) и рентабельности производства (на 8,2...29,7%).

Список использованных источников

1. Агроэкологическая эффективность применения фосфогипса в овощных агроценозах / Н.И. Аканова, Л. Н. Холомьева, М. Н. Можаренко [и др.] // Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. № 2(392). С. 163–167.
2. Агроэкологическая эффективность применения фосфогипса при орошении / Н.И. Аканова, Л. Н. Холомьева, М. Н. Можаренко [и др.] Плодородие. 2022. № 6(129). - С. 83–86.
3. Агроэкономические и экологические аспекты химической мелиорации засоленных почв/ Р. В. Некрасов, А. Х. Шеуджен, Р. Ф. Байбеков [и др.] // Земледелие. 2021. №8. - С. 3–7.
4. Аканова Н. И. Эффективные решения повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур. // Плодородие. 2020. № 2 (113). - С. 29–32.
5. Григулецкий В. Г., Ширяев О. В., Ивакин Р. А. Оценка эффективности применения фосфогипса в земледелии // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2021. № 4 (17). - С. 20–28.
6. Добрыдnev Е. П., Локтионов М.Ю. Основные результаты исследования агроэкологической эффективности фосфогипса в земледелии Краснодарского края // Плодородие. 2013. - №1. - С. 7–9.
7. Зависимость продуктивности севооборота от применения фосфогипса и удобрений / И.В. Синявский, А. М. Плотников, А. В. Созинов, Н. Д. Гущенская // Аграрный научный журнал. 2022. № 1. - С. 37–42.
8. Исследование способов использования фосфогипса в качестве удобрения или компонента комплексного удобрения / Д. Монастырский, М. А. Куликова, А. Р. Шихов, А.И. Санаев // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 5(143). - С. 6.
9. Недбаев И. С., Цыркунова Н. В., Елсукова Е. Ю. Обзор российского и мирового опыта решения экологических проблем производства, хранения, переработки и использования фосфогипса // Вестник евразийской науки. 2022. № 4(14). - С. 10.

References

1. Agroecological efficiency of phosphogypsum application in vegetable agrocenoses / N.I. Akanova, L. N. Kholomyeva, M. N. Mozharensko [et al.] // International Agricultural Journal. 2023. No. 2(392). pp. 163-167.
2. Agroecological effectiveness of phosphogypsum application in irrigation / N. I. Akanova, L.N. Kholomyeva, M. N. Mozharensko [et al.] Fertility. 2022. No. 6(129). pp. 83-86.
3. Agroecological and ecological aspects of chemical reclamation of saline soils/ R. V. Nekrasov, A. H. Sheudzhen, R. F. Baibekov [et al.] // Agriculture. 2021. No. 8. pp. 3-7.
4. Akanova N. I. Effective solutions for increasing soil fertility and crop yields. // Fertility. 2020. No. 2 (113). pp. 29-32.
5. Griguletsky V. G., Shiryaev O. V., Ivakin R. A. Evaluation of the effectiveness of phosphogypsum use in agriculture // Ecological Bulletin of the North Caucasus. 2021. No. 4 (17). pp. 20-28.
6. Dobrydnev E. P., Loktionov M.Yu. The main results of the study of the agroecological effectiveness of phosphogypsum in agriculture of the Krasnodar Territory // Fertility. 2013. - No. 1. pp. 7-9.
7. The dependence of crop rotation productivity on the use of phosphogypsum and fertilizers / I.V. Sinyavsky, A.M. Plotnikov, A.V. Sozinov, N. D. Gushchenskaya // Agrarian Scientific Journal. 2022. No. 1. pp. 37-42.
8. Investigation of methods of using phosphogypsum as a fertilizer or a component of complex fertilizers / D. Monastyrsky, M. A. Kulikova, A. R. Shikhov, A. I. Sanaev // International Scientific Research Journal. 2024. № 5(143). p. 6.
9. Nedbaev I. S., Tsyvkunova N. V., Yelsukova E. Y. Review of Russian and international experience in solving environmental problems of phosphogypsum production, storage, processing and use // Bulletin of Eurasian Science. 2022. No. 4(14). p. 10.

2.4 ФИТО- И ВОДНАЯ МЕЛИОРАЦИЯ В ТУРКМЕНИСТАНЕ (НА ПРИМЕРЕ ТУРКМЕНСКОГО ОЗЕРА АЛТЫН АСЫР И КАРАКУМСКОГО КАНАЛА)

Туркменистан расположен в аридной зоне, где пустыни занимают около 80% территории страны. Известно, что пустынные территории отличаются хрупкостью экосистем и наиболее подвержены любому внешнему воздействию. Глобальное изменение климата и интенсивное хозяйственное освоение этих территорий повлекли за собой экологические и социально-экономические проблемы, решение которых является первоочередной задачей учёных страны. В числе таких задач мелиорация как один из способов сдерживания процессов опустынивания и деградации земель. Засушливые и полузасушливые территории с их хрупкими экосистемами занимают большую часть Туркменистана, поэтому любое неосторожное вмешательство в природные процессы быстро отражается на состоянии почвенного и растительного покрова, обуславливая снижение продуктивности пастбищ,

круглогодично используемых в животноводстве. В этих условиях мелиорация неизбежно становится одним из ключевых инструментов обеспечения экологической и продовольственной безопасности.

Конвенцией ООН по борьбе с опустыниванием этот процесс определяется как деградация аридных земель под воздействием изменения климата и хозяйственной деятельности человека. В условиях Туркменистана процессы опустынивания и деградации земель стали результатом недостаточно продуманной их мелиоративной подготовки, нерационального использования оросительной воды, неудовлетворительного технического состояние коллекторно-дренажной сети, заболачивания орошаемых земель и пастбищ, использования высокоминерализованных вод для полива, вырубки лесов и нарушения пастбищеоборота. Природными факторами в этих процессах являются водная и ветровая эрозия, трансграничный перенос солей и пылевых аэрозолей с высохшего дна Аральского моря и учащающиеся случаи засухи.

Аридизация климата и изменение гидрологического режима трансграничных рек, в том числе Амударьи, усиливают дефицит водных ресурсов, на которых базируются сельское и водное хозяйство страны. В Национальной стратегии по изменению климата и Определяемом на национальном уровне вкладе Туркменистана до 2030 г. водное и сельское хозяйство, леса и земельные ресурсы выделены в качестве приоритетных направлений деятельности по адаптации к изменению климата. Важное место в этих документах занимают вопросы повышения эффективности водопользования, внедрения прогрессивных методов орошения, фитомелиорации староорошаемых земель и расширения площади лесонасаждений.

Для Туркменистана исторически отправной точкой промышленной мелиорации стало строительство Каракумского канала – одной из крупнейших оросительных магистралей мира (рисунок 2.2), протянувшейся от Амударьи к оазисам центральной и южной частей страны, и далее – на запад. Канал обеспечил возможность создания больших массивов орошаемых земель, развитие новых агроландшафтов и рост урожайности, но одновременно привёл к масштабному перераспределению стока, росту зависимости агроэкосистем от управляемого орошения и усилению рисков подтопления и вторичного засоления. Опыт показал, что в аридной зоне одной лишь оросительной сети недостаточно, так как сопутствующее повышение уровня грунтовых вод и подъём растворённых солей к поверхности обуславливают деградацию земель и снижение их продуктивности.



Рисунок 2.2 - Панорама Каракум-реки (Каракумского канала): крупнейшая ирригационная артерия региона, обеспечивающая водоподачу в оазисы южного и центрального Туркменистана и изменившая агроландшафт пустыни

Поэтому базовый принцип туркменской системы мелиорации – чёткое конструктивное и функциональное разделение оросительной и коллекторно-дренажной сетей. Оросительные каналы и распределительная сеть решают задачу обводнения и доставки воды на поля, пастбища и в населённые пункты, тогда как коллекторы и дренажные каналы предназначены для контролируемого отвода избыточной влаги и минерализованных стоков, понижения уровня грунтовых вод и выноса солей за пределы продуктивного контура. Такое двухконтурное построение системы позволяет одновременно поддерживать водообеспечение и бороться с подтоплением и засолением, что особенно важно на лёгких песчаных, такыровидных, солончаковых и гипсовых почвах Каракумов и прилегающих территорий. Организованная промывка засоленных почв с последующим отводом промывных вод

по коллекторно-дренажной сети является одним из ключевых инструментов восстановления плодородия и предотвращения вторичного засоления.

Развитие орошения в пустынной зоне сопровождалось ростом объёма коллекторно-дренажных и сбросных вод, требующих экологически безопасной утилизации. Ответом на эту проблему стал уникальный проект – создание Туркменского озера Алтын асыр для сбора коллекторно-дренажных вод с орошаемых земель страны по системе коллекторов и отвода их в природную впадину Карашор (рисунок 2.3). Его реализация позволила осуществить вывод солёных вод с пахотных земель, понизив тем самым уровень подпочвенных, и сформировать резервный фонд воды для её дальнейшего использования в кормопроизводстве, обводнении пастбищ, а после очистки и опреснения – в локальном рыбоводстве, ойтачном земледелии, лесоводстве и др.

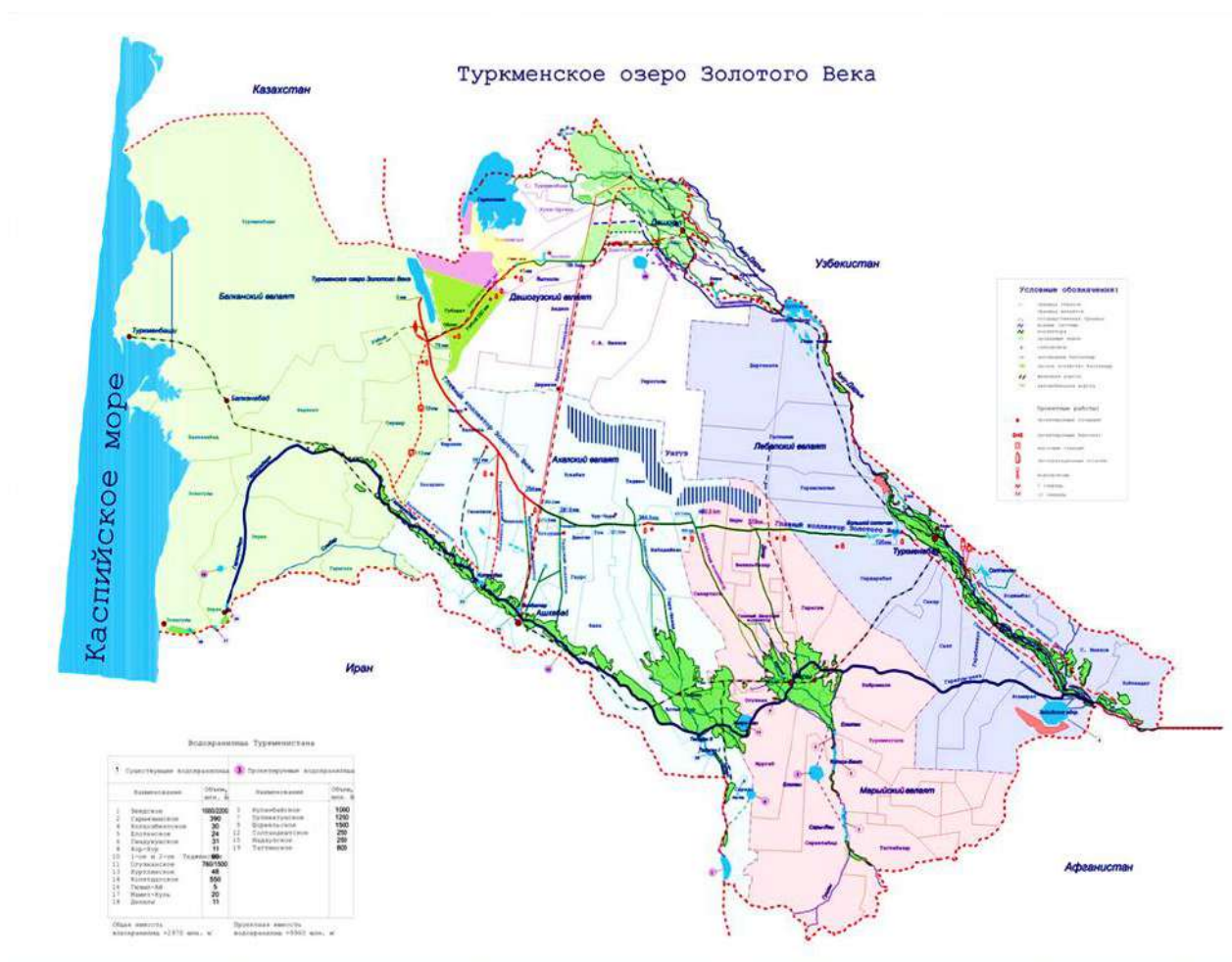


Рисунок 2.3 - Карта-схема расположения Туркменского озера Алтын асыр и системы Главного коллектора. Визуализация единой сети сбора коллекторно-дренажных вод в центральном и северном Туркменистане

Исследования земель в окрестностях Главного коллектора Туркменского озера показывают, что здесь представлены практически все типы пустынных пастбищ Каракумов, и при наличии воды возможна организация круглогодичного пастбищного животноводства.

Важным дополнением к крупным магистральным сооружениям являются локальные гидротехнические объекты в предгорьях Копетдага и окрестностях г. Ашхабада. Они предназначены для «перехвата» и аккумуляирования селевых и ливневых стоков, снижения риска возникновения наводнений и катастрофического повреждения городской и сельской инфраструктуры. В туркменской практике такие водосборники всё чаще рассматриваются как элементы стратегии по водосбережению: аккумулируемые в них объёмы воды частично включаются в общую систему коллекторно-дренажной сети и направляются в Туркменское озеро. Благодаря этому экстремальные гидрометеорологические явления становятся дополнительным источником водных ресурсов.

Особенность туркменского подхода заключается в том, что мелиорация земель в целом предусматривает их фитомелиорацию, регулирование водного и солевого режимов с целью формирования устойчивого растительного покрова. Масштабные работы по озеленению, закреплению песков и созданию пустынных лесов, масштабно реализуемые последние три десятилетия, институционализированы в Национальной лесной программе, которая несколько раз пересматривалась с учётом климатических изменений и социально-экономических задач. В её рамках реализуются лесопосадки в горных и предгорных районах, поймах и по берегам рек, вокруг оазисов, вдоль каналов и дорог, а также на прилегающих к оазисам пустынных территориях и в туркменском Приаралье (рисунок 2.4).

В горных и предгорных районах закладываются арчевые леса, высаживаются сопутствующие древесные породы, в пустынной – саксауловые, черкезовые, кандымовые и др. Эти насаждения выполняют целый комплекс функций: закрепляют подвижные пески, замедляют ветровую эрозию и перенос эолового материала (засыпание объектов инфраструктуры – железные и автодороги, линии электропередачи, трубопроводы и другие сооружения топливно-энергетического комплекса), создают благоприятный микроклимат, способствуют формированию травянистого покрова и повышению продуктивности пастбищ. Полевые исследования показывают, что создание пустынных лесов может существенно снизить интенсивность движения песка и повысить урожайность прилегающих полынно-эффемерных пастбищ.



Рисунок 2.4 - Формирование антропогенного ландшафта вдоль русла Каракум-реки. Густые древесно-кустарниковые заросли (тугаи) выполняют функцию берегоукрепления и создания микроклимата в условиях аридной зоны

Особое место в туркменской концепции биотической мелиорации занимают галофиты. Во флоре страны они представлены сотнями видов, различающихся степенью солеустойчивости и экологической нишей. Гипергалофиты (саксаул чёрный - *Haloxylon aphyllum*, соляноколосник каспийский - *Halostachys caspica*, селитрянга Шобера - *Nitraria schoberi* и др.) произрастают на сильно засоленных почвах с высокой минерализацией почвенного раствора, формируя устойчивые растительные сообщества. Умеренные галофиты (галотамнус - *Halothamnus* Jaub.et Spach.), отдельные виды солянок - *Salsola* L. и полыни - *Artemisia* L.) обладают широким диапазоном толерантности к засолению, а виды, приспособленные к слабо засоленным почвам, эффективно осваивают такыровидные и солонцеватые участки.

С научной точки зрения галофиты рассматриваются не только как объект ботанических исследований, но и как важный ресурс для сельского хозяйства и мелиорации. Оценки показывают, что значительная их часть потенциально может быть использована как источник высокобелковых кормов, пищевого, масличного и лекарственного сырья, а также как

биомелиоранты, способные осваивать малопродуктивные минерализованные и гипсовые почвы, прибрежные пески и сухие такыры, где традиционные культуры практически не растут. Благодаря глубокой и разветвлённой корневой системе и специальным физиологическим механизмам, галофиты выдерживают длительные периоды засухи, стабилизируют почву и выполняют роль «скелетных» видов в пустынных фитоценозах.

Создание Туркменского озера Алтын асыр и организованный отвод минерализованных коллекторно-дренажных вод от оазисов предотвращают сброс их в Амударью, улучшая состояние вод в её нижнем течении и создавая условия для ведения галофитного растениеводства на ранее подтопленных и засоленных пастбищных территориях. Выращивание галофитов и других солеустойчивых культур на таких участках позволяет одновременно производить высокопитательные корма и утилизировать минерализованные дренажные воды, создавая их ресурс и решая экологические проблемы. Древесно-кустарниковые насаждения выполняют функцию биологического дренажа, перехватывая значительную часть влаги, понижая уровень грунтовых вод и уменьшая степень вторичного засоления. Часть галофитов при своевременном их сборе способствуют рассолению почвы.

Комплексные фитомелиоративные разработки Национального института пустынь, растительного и животного мира направлены на формирование пастбищных агрофитоценозов с 15–20-летней устойчивой продуктивностью. Оптимальным для пустынных пастбищ Каракумов признано следующее соотношение жизненных форм: около трети – деревья и кустарники, две трети – полукустарники, оставшаяся часть – травянистые растения. При таком составе и правильном подборе видов удаётся существенно повысить урожайность пастбищных растений и улучшить экологическое состояние земель. Экономические расчёты показывают, что затраты на создание таких агрофитоценозов, как правило, окупаются в течение нескольких лет за счёт увеличения кормовой базы и роста ёмкости пастбищ по поголовью скота.

Сопутствующим элементом устойчивого пустынного животноводства является научно обоснованный пастбищеоборот и соблюдение нормативов ёмкости пастбищ по количеству выпасаемого скота, закреплённых в национальном Законе о пастбищах. Чередование использования одного и того же пастбищного участка по сезонам (весна, лето, осень, зима) с учётом видового состава и продуктивности растительности позволяет снижать нагрузку на экосистему и предотвращать истощение земель. При этом наличие галофитов и других солеустойчивых видов создаёт страховой запас кормов

в осенне-зимний период и в засушливые годы, когда продуктивность эфемеров и злаков снижается.

Ключевую роль в развитии и научном сопровождении мелиорации и фитомелиорации играют профильные институты. Туркменский государственный научно-производственный и проектный водохозяйственный институт «Туркменсувылымтаслама» Государственного комитета водного хозяйства разрабатывает концепции развития, схемы модернизации гидросети, пилотные проекты по внедрению водосберегающих технологий и вторичному использованию воды. Национальный институт пустынь, растительного и животного мира ведёт многолетние исследования динамики растительного покрова, разрабатывает технологии создания пустынных лесов и пастбищных агрофитоценозов, участвует в реализации проектов по борьбе с опустыниванием в рамках международных инициатив. Эти два ведущих института различного профиля синергичны в решении единой задачи – освоении пустынь без нанесения вреда природе.

Учитывая трансграничный характер основных водных ресурсов, Туркменистан активно развивает водную дипломатию на региональном уровне. В рамках деятельности Международного фонда спасения Арала и соответствующих комиссий реализуются проекты по устойчивому управлению использованием земельных и водных ресурсов, обсуждаются сценарии адаптации к изменению климата и вырабатываются общие подходы к распределению трансграничных вод. Параллельно развивается двустороннее сотрудничество с соседними странами по вопросам ирригации, фитомелиорации и цифрового учёта воды. Для Туркменистана как нижерасположенного пользователя воды принципиально важно, чтобы такие договорённости учитывали интересы страны и обеспечивали предсказуемые режимы подачи воды в условиях её растущего потребления в верховьях, включая Афганистан.

В совокупности туркменский опыт мелиорации представляет собой комплексную модель, в которой инженерные водохозяйственные решения (Каракумский канал, Туркменское озеро Алтын асыр, развитая система оросительных и коллекторно-дренажных сетей, селесборники) изначально увязаны с фитомелиорацией, галофитным растениеводством и политикой адаптации к изменению климата. Это позволяет одновременно решать задачи повышения продуктивности сельского хозяйства, сохранения пастбищной кормовой базы и устойчивости экосистем, представляя собой пример интеграции инженерной и биотической мелиорации для других стран аридной зоны.

Список использованных источников

1. Национальная стратегия Туркменистана по изменению климата (новая редакция). – Ашхабад, 2019. – 20 с. – URL: <https://policy.asiapacificenergy.org/node/3494> - Текст: электронный.
2. Определяемый на национальном уровне вклад (ОНУВ) Туркменистана по Парижскому соглашению по климату. – Ашхабад, 2022. – 34 с. – URL: https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2023-01/NDC_Turkmenistan_12-05-2022_approv.%20by%20Decree_Rus.pdf (текст электронный).
3. Концепция развития водного хозяйства Туркменистана на период до 2030 года. – Ашхабад: ПРООН, 2021. – 45 с. – URL: https://climatepromise.undp.org/sites/default/files/turkmenistan_water_strategy_rus.pdf. - Текст: электронный.
4. Национальная лесная программа Туркменистана (на период до 2020 года). – Ашхабад : Тегеранская конвенция, 2018. [Электронный ресурс]. URL: https://tehranconvention.org/sites/default/files/turkmenistan_forest_program_rus.pdf
5. Джумамурадова Г. И др. Оджарники Октулгума // Тез. докл. Междунар. науч. конф. «Наука, техника и инновационные технологии в эпоху могущества и счастья возрожденного государства». Ашхабад: Ылым, 2025.
6. Кепбанов П.А. и др. Пастбища окрестностей собирательного коллектора Туркменского озера «Алтын асыр»: пособие. – Ашхабад: Национальный институт пустынь, растительного и животного мира МСХОС Туркменистана, 2023. – 51 с.
7. Дуриков М. Оздоровление природы – в сдерживании процессов опустынивания // Нейтральный Туркменистан [Электронный ресурс]. – 2023. – 15 июня. – URL: <https://www.turkmenmetbugat.gov.tm/ru/newspapers/50/articles/53577>
8. Эсенов П., Мамедов Э. Галофиты помогут восстановить засоленные почвы // Туркменистан: золотой век [Электронный ресурс]. – 2012. – 18 апр. – URL: <https://turkmenistan.gov.tm/ru/post/16916/galofity-pomogut-vostranovit-zasolennye-pochvy>.
9. Горягдыев Г. Ч. Пустынные леса Каракума в борьбе с опустыниванием // Принципы экологии. 2023. № 1. С. 4–12. DOI: 10.15393/j1.art.2023.13446
10. Каракумский канал и экологические затраты на орошение Туркменистана // Аналитический центр по проблемам Каспия. – Баку: Caspian House, 2025. – 25 с.

References

1. Turkmenistan's National Strategy on Climate Change (new edition). – Ashgabat, 2019. – 20 p. – URL: <https://policy.asiapacificenergy.org/node/3494> - Text: electronic.
2. Nationally determined contribution (ONUV) Turkmenistan under the Paris Climate Agreement. – Ashgabat, 2022. – 34 p. – URL: https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2023-01/NDC_Turkmenistan_12-05-2022_approv.%20by%20Decree_Rus.pdf (the text is electronic).
3. The concept of water management development in Turkmenistan for the period up to 2030. – Ashgabat: UNDP, 2021. – 45 p. – URL: https://climatepromise.undp.org/sites/default/files/turkmenistan_water_strategy_rus.pdf . - Text: electronic.
4. The National Forest Program of Turkmenistan (for the period up to 2020). – Ashgabat : Tehran Convention, 2018. [Electronic resource]. URL: https://tehranconvention.org/sites/default/files/turkmenistan_forest_program_rus.pdf

5. Dzhumamuradova G. Et al. Odzharniki Oktumguma // Tez. dokl. International Scientific Conference "Science, technology and innovative technologies in the era of power and happiness of the reborn state". Ashgabat: Ylym, 2025.
6. Kepbanov P.A. et al. Pastures of the surroundings of the collecting reservoir of the Turkmen lake "Altyn Assir": a manual. Ashgabat: National Institute of Deserts, Flora and Fauna of the Ministry of Agriculture of Turkmenistan, 2023. 51 p.
7. Durikov M. Improving the health of nature – in curbing desertification processes // Neutral Turkmenistan [Electronic resource]. – 2023. – June 15th. – URL: <https://www.turkmenmetbugat.gov.tm/ru/newspapers/50/articles/53577>
8. Esenov P., Mammadov E. Halophytes will help restore saline soils // Turkmenistan: the golden Age [Electronic resource]. – 2012. – 18 Apr. – URL: <https://turkmenistan.gov.tm/ru/post/16916/galofity-pomogut-vosstanovit-zasolennye-pochvy>.
9. Garyagdyev G. Ch. Desert forests of Karakum in the fight against desertification // Principles of ecology. 2023. No. 1. pp. 4-12. DOI: 10.15393/j1.art.2023.13446
10. The Karakum Canal and the environmental costs of irrigation in Turkmenistan // Analytical Center for the Caspian Sea. – Baku: Caspian House, 2025. – 25 p.

2.5 БЕСПИЛОТНЫЙ НАДВОДНЫЙ АППАРАТ «МО РФ – 1» ДЛЯ МО РФОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЛИОРАТИВНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Цифровая трансформация сельского хозяйства и мелиоративного комплекса предполагает широкое внедрение средств автоматизированного сбора пространственных данных [1]. Важное место среди них занимают беспилотные надводные аппараты (БНА), позволяющие оперативно получать актуальную информацию о состоянии водных объектов – глубинах, рельефе дна, площади зеркала и объемах воды.

Однако, большая часть мелиоративных водных объектов (каналы, коллекторы, пруды-накопители) характеризуются специфическими условиями, затрудняющими применение традиционных методов промера с помощью существующих беспилотных платформ. К таким условиям относятся малые глубины, активное зарастание водной поверхности растительностью и подверженность акватории ветровому волнению.

Цель настоящей работы – представить конструкцию специализированного беспилотного надводного аппарата «МО РФ – 1», адаптированного к эксплуатации в перечисленных условиях, и изложить основные технические решения, обеспечивающие его устойчивую работоспособность.

Объектом исследования является беспилотный надводный аппарат «МО РФ – 1» (рис. 2.5). При его проектировании на основании результатов проведенного анализа учитывались условия эксплуатации аппарата

на типичных мелиоративных водных объектах европейской части Российской Федерации.



Рисунок 2.5 – Беспилотный надводный аппарат «МОРФ – 1» в работе

В ходе работы с водными объектами были выделены следующие ограничения:

- ограниченные глубины (преимущественно 1–5 м, редко до 10 м), что потребовало обеспечения минимальной осадки и высокой маневренности;
- высокая биогенная нагрузка и зарастание – наличие тростника, рогоза, нитчатых водорослей, что создает риск наматывания на винты;
- волновое воздействие, влияющее на точность эхолотирования;
- транспортная логистика – отсутствие оборудованных спусковых площадок и необходимость переноски аппарата вручную.

На основе этих требований была сформулирована концепция аппарата «МОРФ – 1», реализованная в виде действующего образца. Конструкция защищена патентом на полезную модель [2] и патентом на изобретение [3].

Главной угрозой при работе на заросших акваториях является наматывание растительности на гребные винты. Для предотвращения этого в аппарате «МОРФ – 1» применены два независимых погружных электродвигателя, каждый из которых оснащен защитным кожухом (кольцевой насадкой). Данное решение позволяет устранить следующие проблемы:

- предотвращает прямой контакт винта с подводными объектами и растительностью;
- обеспечивает высокую маневренность за счет дифференциального управления двигателями (разворот на месте);
- позволяет быстро заменять поврежденные кожухи в полевых условиях.

Для получения качественных батиметрических данных необходимо обеспечить вертикальную ориентацию луча эхолота при волнении. В рассматриваемом аппарате реализован двухступенчатый подход. На первом этапе использовалось подвижное крепление эхолота, позволяющее датчику сохранять устойчивое вертикальное положение за счет собственной плавучести (пассивная стабилизация) [2]. На втором этапе, с целью автоматизации и повышения надежности при транспортировке, разработана шарнирно-рычажная система с гидравлическим приводом [3], обеспечивающая дистанционный перевод эхолота из рабочего положения в транспортное.

Аппарат оснащен блоком радиоэлектронной аппаратуры с поддержкой ГЛОНАСС/GPS, аккумуляторной батареей, обеспечивающей до 12 часов автономной работы, и 6-канальной радиосистемой управления с частотой 24 ГГц. Корпус выполнен из композитных материалов на основе полимеров, армированных стекловолокном; отдельные элементы изготовлены методом 3D-печати.

Проведенные предварительные испытания [4] подтвердили надежную работоспособность аппарата при решении запланированных задач, защитные кожухи эффективно предотвращают наматывание нитчатых водорослей, а подвижное крепление эхолота позволяет датчику сохранять вертикальную ориентацию при волнении, обеспечивая при этом стабильность принимаемого сигнала.

Вместе с тем, в ходе эксплуатации выявлены направления для дальнейшего совершенствования. Во-первых, требуется оценка точности получаемых цифровых моделей рельефа дна путем сравнения с данными эталонных измерений. Во-вторых, в перспективе аппарат может быть оснащен датчиками гидрохимических показателей (температура воды, pH, электропроводность, мутность).

Выводы. Разработанный беспилотный надводный аппарат «МОРФ – 1» представляет собой специализированное средство для проведения морфометрических измерений на мелиоративных водных объектах, характеризующихся малыми глубинами, зарастаемостью и ограниченной доступностью. Предложенные конструктивные особенности – защищенные

двигатели и система стабилизации эхолота – обеспечивают его устойчивую работоспособность в условиях, где применение традиционных плавсредств и существующих беспилотных аналогов крайне затруднено. Аппарат может быть использован для задач периодического мониторинга гидромелиоративных систем, сбора данных для дальнейшего гидродинамического моделирования и создания цифровых двойников.

Список использованных источников

1. Моделирование природно-техногенных процессов в мелиоративно-водохозяйственном комплексе / В. А. Шевченко, Г. И. Бондарева, Э. Б. Дедова [и др.]. – Москва: Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, 2025. – 231 с. – ISBN 978-5-907464-75-9. – DOI 10.37738/VNIIGIM.2025.48.97.001.
2. Патент на полезную модель № 240965 U1 Российская Федерация, МПК В63В 35/00. Устройство для морфометрических измерений характеристик водных объектов: заявл. 29.11.2024; опубл. 30.01.2026 / А. Ю. Кульчев, Е. А. Соловьев, А. А. Бубер, А. К. Боровая; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова». – EDN BEDUVL.
3. Патент № 2853365 C1 Российская Федерация, МПК В63В 35/00, G01S 19/00, В63G 7/00. Беспилотное средство с ГЛОНАСС/GPS/GSM для измерений пространственных характеристик водных объектов: заявл. 27.06.2025; опубл. 23.12.2025 / А. Ю. Кульчев, А.А. Бубер, Л. В. Кирейчева [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова". – EDN DAFYBW.
4. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024625364 Российская Федерация. «Геоинформационная система мелиорированного агроландшафта правобережной части Дединовской поймы р. Оки»: № 2024624995: заявл. 06.11.2024; опубл. 20.11.2024 / А. А. Бубер, Ю. П. Добрачев, А. Ю. Кульчев [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова».

References

1. Modeling of natural and man-made processes in the reclamation and water management complex / V. A. Shevchenko, G. I. Bondareva, E. B. Dedova [et al.]. – Moscow: A.N. Kostyakov Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation, 2025. – 231 p. – ISBN 978-5-907464-75-9. – DOI 10.37738/VNIIGIM.2025.48.97.001.
2. Utility Model Patent No. 240965 U1 Russian Federation, IPC B63B 35/00. A device for morphometric measurements of the characteristics of water bodies: application 29.11.2024; published 30.01.2026 / A. Y. Kulchev, E. A. Soloviev, A. A. Buber, A. K. Borovaya; applicant Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov". – EDN BEDUVL.
3. Patent No. 2853365 C1 Russian Federation, IPC B63B 35/00, G01S 19/00, B63G 7/00. An unmanned vehicle with GLONASS/GPS/GSM for measuring the spatial characteristics of water bodies: application 06/27/2025; published 12/23/2025 / A. Y. Kulchev, A. A. Buber, L. V. Kireicheva [et al.]; the applicant is the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal

Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov". – EDN DAFYBW.

4. Certificate of State registration of the database No. 2024625364 Russian Federation. "Geoinformation system of the reclaimed agricultural landscape of the right-bank part of the Dedinovskaya floodplain of the Oka River": No. 2024624995: application 06.11.2024: published 20.11.2024 / A. A. Buber, Yu. P. Dobrachev, A. Y. Kulchev [et al.]; the applicant is the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov".

2.6 МЕЛИОРАЦИЯ – ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ: СОСТОЯНИЕ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

Орошение – одно из основных направлений интенсивного земледелия в засушливых регионах юга России. Еще в 1889 г. в докладе на VIII съезде русских естествоиспытателей известный ученый, будущий министр земледелия и государственных имуществ А.С. Ермолов говорил: «Главным фактором нашего степного земледелия является вода. Поэтому все наши заботы, прежде всего, должны быть направлены к возможно лучшей утилизации, сбережению и даже привлечению воды. Совладаем мы с водою – и вопрос о поднятии производительности нашего юга будет на три четверти решен; всем мы там богаты – недостает только воды, которую ни за какие деньги не купить» [4].

Ключевым фактором, гарантирующим эффективность сельскохозяйственного производства, является состояние мелиорированных орошаемых земель. Устойчивость сельскохозяйственной отрасли в целом, урожайность и рациональное использование водных ресурсов напрямую зависят от состояния мелиоративного фонда [2].

К сожалению, в орошаемом земледелии принцип сохранения плодородия почвы подменялся стремлением повысить продуктивность сельскохозяйственных культур, а в применяемых системах земледелия до предела упрощено представление о самовосстанавливающихся почвообразовательных процессах, что привело к повсеместной деградации орошаемых земель. В этой связи, на современном этапе повышение плодородия почвы является определяющим направлением развития отечественного земледелия. Это особенно актуально для Республики Дагестан, где площадь пашни на одного жителя к 2030 году сократится с 0,15 до 0,13 га, в связи с чем, без сохранения и повышения плодородия почвы обеспечить рост урожайности нереально.

Цель исследований заключалась в анализе статистического материала по плодородию и мелиоративному состоянию орошаемых земель и определении

путей повышения их плодородия с учетом особенностей развития земледелия Республики Дагестан.

Объектом исследований являлись технологии и приемы повышения плодородия орошаемых земель, так как существующая тенденция ухудшения мелиоративного состояния орошаемых земель республики требует определения причин сложившегося положения и путей выхода из него. Методология исследований базировалась на системном подходе, и аналитическом методе исследований.

Анализ современного состояния земельного фонда республики показывает, что существующая на практике система землепользования не обеспечивает сохранения и воспроизводства природно-ресурсного и средообразующего потенциала, а также устойчивость развития земледелия, в том числе и орошаемого. По данным ГЦАС «Дагестанский» в республике продолжается снижение плодородия сельскохозяйственных угодий, основными показателями которого являются содержание гумуса, ежегодные потери которого в пахотном слое составляют 0,5...0,6 т/га, и подвижных форм основных элементов питания (рис. 2.6).

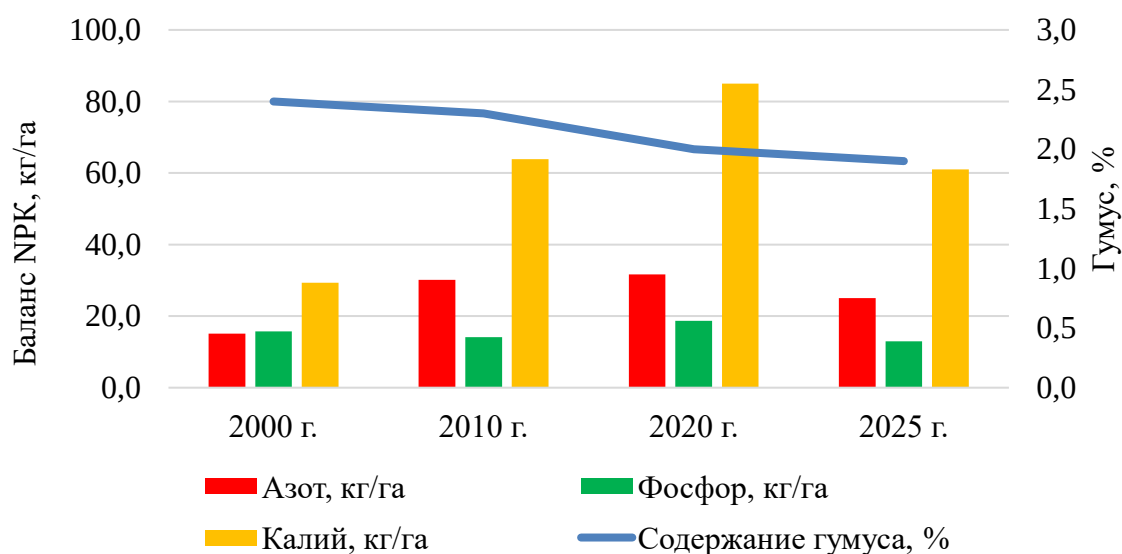


Рисунок 2.6 – Содержание гумуса и основных элементов питания

Снижение плодородия используемых сельскохозяйственных угодий связано с мелкотоварным производством аграрной продукции, резким сокращением норм вносимых минеральных и органических удобрений, нарушениями технологии при применении других звеньев систем земледелия из-за причин экономического характера и слабой материально-технической базы товаропроизводителей. Большая часть сельскохозяйственного производства ведется по экстенсивным технологиям, эксплуатирующим

почвенное плодородие, при этом вынос питательных веществ не компенсируется поступлением минеральных и органических удобрений, срабатывается гумус, что снижает энергетический ресурс почвы и выход продукции растениеводства [8].

Республика Дагестан является самым крупным исторически сложившимся регионом орошаемого земледелия страны, на долю которого приходится около 8,5% всех орошаемых земель России и более 40% Северного Кавказа. Это связано с тем, что 75% территории размещено в острозасушливых условиях, 16% - в условиях недостаточной обеспеченности осадками и лишь 9% в местах более или менее достаточного увлажнения. Площадь орошаемых земель в республике составляет 395,6 тыс. га, в том числе пашня занимает 271 тыс. га, кормовые угодья – 60,4 тыс. га, многолетние насаждения – 43,6 тыс. га, с которых получают более 70% растениеводческой продукции, производимой в республике [6]. Однако и на орошаемых землях республики ситуация с плодородием состоит не лучшим образом (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Мелиоративное состояние орошаемых земель Республики Дагестан

Из приведенных данных видно, что доля орошаемых земель с неудовлетворительным состоянием возросла до 54%, в основном из-за недопустимого уровня грунтовых вод (УГВ), что является следствием низкой обеспеченности орошаемых земель закрытым дренажом – всего 7,8%, приводящей к засолению, осолонцеванию, слитизации, переувлажнению и другим негативным процессам. Перечисленные последствия ухудшают экологическую ситуацию и качественное состояние орошаемых земель,

поэтому важно не только повысить продуктивность орошаемых агроландшафтов, но и сохранить их функциональную целостность, учитывая как антропогенные, так и усиливающиеся климатические воздействия на них.

В этой связи на первый план выдвигаются вопросы сохранения почвенного плодородия, а потом уже его повышения. Научой и передовой сельскохозяйственной практикой определены основные направления в мелиорации и орошаемом земледелии, применение которых способствует улучшению плодородия орошаемых земель. С учетом текущего состояния плодородия орошаемых земель в Республике Дагестан, на наш взгляд, основные пути для решения проблемы повышения плодородия почв следующие.

1. На первый план выдвигается модернизация технического уровня оросительных систем, который не отвечает современным требованиям из-за высокого износа основных фондов (более 60%), отсутствия антифильтрационной одежды в межхозяйственных каналах (84%), низкого уровня обеспеченности дренажной сетью (около 31,0 тыс. га), несовершенства гидротехнических сооружений и др., что снижает КПД оросительных систем и увеличивает непроизводительный расход пресной воды, приводит к заилению, зарастанию сорняками, инфильтрации воды и подъему УГВ. Решение этой проблемы во многом связано с реализацией Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса, рассчитанной до 2031 года.

2. Серьезный удар по мелиоративному состоянию орошаемых земель был нанесен нарушениями традиционных зональных технологий из-за низкой технической оснащенности сельскохозяйственных товаропроизводителей, отсутствием дренажной сети, преобладанием экстенсивных агротехнологий с минимальными нормами удобрений, нарушающими один из основных законов орошаемого земледелия – закон возврата, а также резким сокращением объемов планировочных работ и объемов внесения химических мелиорантов, нарушением севооборотов и др. На орошаемых землях должны быть освоены современные технологии, которые предусматривают возделывание интенсивных сортов, отзывчивых на орошение, оптимизацию питания растений, защиту от сорняков, болезней и вредителей, при этом внесение минеральных удобрений необходимо довести до 150...200 кг/га д.в. [3]. Однако для внедрения интенсивных технологий необходимо сочетание многих элементов, среди которых немаловажное значение имеет энерговооруженность сельскохозяйственных товаропроизводителей. Низкий уровень общей технической оснащенности при высоком уровне ее износа,

недостаток специальной мелиоративной техники (комбинированные агрегаты, глубокорыхлители, планировщики, катки и др.) не способствуют внедрению этих технологий.

3. Особое значение в орошаемом земледелии имеет соблюдение закона возврата, который практически не соблюдается, при этом роль системы удобрений в повышении продуктивности земледелия по данным МСХ Российской Федерации составляет не менее 40% [7]. Если посмотреть статистику внесения удобрений в республике, то говорить о сохранении и тем более повышении плодородия почвы неуместно, так как они вносились только на 29% обрабатываемой площади, в основном под рис и озимую пшеницу. При потребности Республики Дагестан в минеральных удобрениях 130...150 тыс. т внесено только 14,5 тыс. т (или 10%). Практически не проводилось гипсование засоленных земель (рис. 2.8). Существенно влияет на эти показатели низкая обеспеченность сельскохозяйственных организаций Дагестана техникой для внесения минеральных удобрений, которая по данным Росстата в 2023 г. составляла 16%, от нормы, а техника для внесения органических удобрений практически отсутствует.

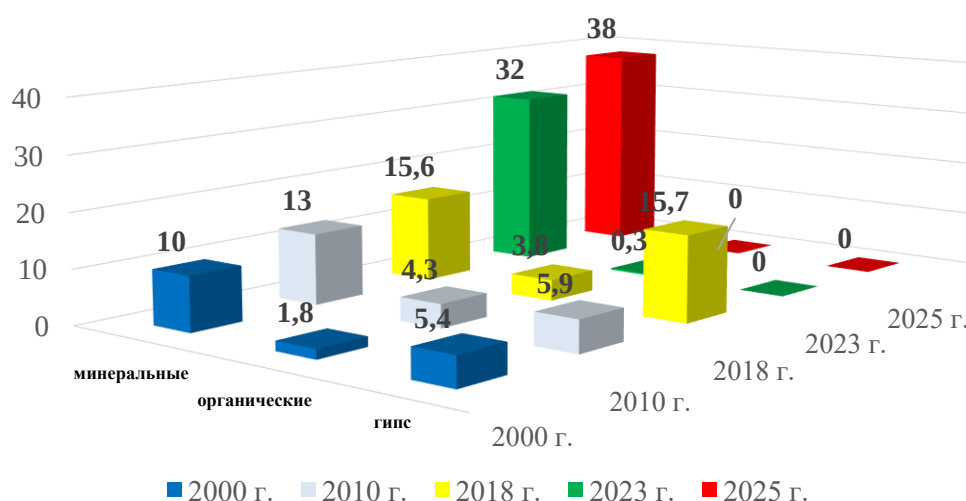


Рисунок 2.8 – Динамика внесения удобрений в Республике Дагестан

4. Поскольку в среднем с одного гектара пашни ежегодно выносятся более 100 кг основных элементов питания в действующем веществе, то решить проблему повышения плодородия почв можно, используя такой элемент природоподобных технологий, как использование возобновляемых источников углерода и энергии на основе внесения зеленых удобрений. В современных сложных экономических условиях наиболее доступным и дешевым источником углерода является посев сидератов (зеленых удобрений), возделывание которых и заделка в почву в 3...4 раза дешевле, чем применение навоза, что особенно важно для нашей республики, где

эффективное использование даже заготовленного навоза ограничивается отсутствием техники для его внесения. Запашка 30...40 т/га зеленой массы сидератов (особенно бобовых – донник, эспарцет, вика озимая и др.) эквивалентно 40...50 т/га навоза [1].

5. Другим элементом природоподобной технологии на орошаемых землях является максимальное использование биоклиматического потенциала территории на основе севооборота. Севооборот является фундаментом и важным агрономическим звеном, на котором базируются все остальные звенья агротехники. Однако в республике практически отсутствуют введенные и освоенные севообороты в агрономическом понимании этого важного звена системы земледелия, что не позволяет, в том числе, выращивать сидераты в качестве промежуточных культур, которые способствуют дополнительному повышению плодородия и оздоровлению полей (очистке их от сорняков, вредителей и болезней) [5]. Мало внимания уделяется возделыванию люцерны, доля которой в структуре посевных площадей составляет 25...30%, отсутствуют посевы зернобобовых культур, а учитывая огромную роль этих культур в повышении плодородия орошаемых земель, в том числе в рисовых севооборотах, надо довести структуру посевных площадей под ними до 35...40%, что существенно сократит затраты на приобретение агрохимикатов.

6. Существенную роль в сохранении почвенного плодородия и стабилизации орошаемого земледелия играет защитное лесоразведение, лесополос мало вдоль крупных магистральных и межхозяйственных каналов, а их роль в улучшении мелиоративного состояния земель велика, но в республике это направление не реализуется. Поэтому очень важно в план модернизации оросительных систем включить этот элемент ее структуры.

7. В улучшении мелиоративного состояния орошаемых земель велика роль ресурсосберегающих способов орошения, внедрение которых в республике движется очень медленно. За 20 лет только около 2% орошаемых площадей находится под капельным орошением и практическое отсутствие дождевания не соответствует возрастающему дефициту поливной воды и усиливающейся аридизации климата. Поэтому в овощеводстве республики, которая занимает по валовому производству овощей 2 место в России, для влаголюбивых овощных культур капельное орошение должно стать обязательным с соответствующей государственной и региональной поддержкой.

Выводы. На основании анализа динамики плодородия орошаемых площадей за последние 25 лет, выявлены причины, вызвавшие деградацию

пахотных земель в Республике Дагестан, приведены основные направления для сохранения и повышения плодородия почв и пути их решения. Предлагаются конкретные направления по сохранению плодородия орошаемых земель путем модернизации существующих оросительных систем, внедрения интенсивных технологий, обязательного освоения севооборотов и увеличения посевных площадей под сидератами, люцерной и зернобобовыми культурами, так как применение минеральных удобрений и навоза упирается в отсутствие техники для их внесения, что вызывает экономическую нестабильность сельскохозяйственных товаропроизводителей. Рассматриваются вопросы водосбережения при выращивании сельскохозяйственных культур на орошаемых землях, а также необходимость расширения капельного орошения при возделывании овощных культур. Реализация этих направлений в зонах орошаемого земледелия позволит придать экологическую устойчивость агроландшафтам, сохранить и повысить плодородие орошаемых земель и в итоге существенно поднять отдачу орошаемого гектара.

Список использованных источников

1. Довбан К.И. Зеленое удобрение в современном земледелии: вопросы теории и практики. Минск: Белорусская наука. 2009. - 404 с.
2. Зеленский Н.А., Зеленская Г.М., Мокриков Г.В., Шкуркин А.Ю. Плодородие почвы: настоящее и будущее нашего земледелия // Земледелие. 2018. №5. - С. 4-7.
3. Кирюшин В.И. Система научно-инновационного обеспечения технологий адаптивно-ландшафтного земледелия // Земледелие. 2022. № 2. - С. 3-7.
4. Курбанов С.А., Джамбулатова Р.И. История мелиорации в Дагестане. Махачкала: Изд-во ДГСХА, 2010. - 196 с.
5. Курбанов С.А. Сохранение и повышение плодородия почв – основа увеличения эффективности земледелия Дагестана // Земледелие. 2021. №4.- С. 16-20.
6. Магомедов М.М., Курбанов С.А. Состояние и перспективы развития мелиорации в Республике Дагестан // Мелиорация и водное хозяйство. 2025. № 3. - С. 30-33.
7. Чекмарев, П.А. Воспроизводство плодородия – залог стабильного развития агропромышленного комплекса России // Плодородие. 2018. №1. - С. 4-7.
8. Шевченко В.А., Кирейчева Л.В. Комплексная мелиорация – основа технологического обеспечения продовольственной безопасности и сохранения плодородия почв // Природообустройство. 2025. №1. – С. 6-12.

References

1. Dovban K.I. Green fertilizer in modern agriculture: issues of theory and practice. Minsk: Belarusian Science. 2009. - 404 p.
2. Zelensky N.A., Zelenskaya G.M., Mokrikov G.V., Shkurkin A.Yu. Soil fertility: the present and future of our agriculture. 2018. No.5. - pp. 4-7.

3. Kiryushin V.I. The system of scientific and innovative support of adaptive landscape farming technologies. 2022. No. 2. pp. 3-7.
4. Kurbanov S.A., Dzhambulatova R.I. History of land reclamation in Dagestan. Makhachkala: Publishing house of the DGSMA, 2010. - 196 p.
5. Kurbanov S.A. Preservation and improvement of soil fertility – the basis for increasing the efficiency of agriculture in Dagestan // Agriculture. 2021. No. 4. - pp. 16-20.
6. Magomedov M.M., Kurbanov S.A. The state and prospects of land reclamation development in the Republic of Dagestan // Land reclamation and water management. 2025. No. 3. - pp. 30-33.
7. Chekmarev, P.A. Reproduction of fertility is the key to stable development of the agro-industrial complex of Russia // Fertility. 2018. No. 1. - pp. 4-7.
8. Shevchenko V.A., Kireicheva L.V. Integrated land reclamation is the basis for technological food security and soil fertility preservation. 2025. No. 1. - pp. 6-12.

2.7 КОМПЛЕКСНАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ТЕХНОГЕННО – ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ГУМИНО-КРЕМНИЕВЫХ МЕЛИОРАНТОВ

Проблема антропогенной деградации почвенного покрова в последние десятилетия приобретает характер системного вызова для агропромышленного комплекса Российской Федерации. Традиционное понимание загрязнения почвы как процесса аккумуляции веществ, не связанных с почвообразованием, сегодня дополняется необходимостью учета посттехногенной трансформации физико-химических свойств земель [2, 6]. Нарушение морфологической структуры, снижение порозности аэрации и водоудерживающей способности зачастую наносят больший урон продуктивности угодий, чем само наличие поллютанта.

По данным Министерства сельского хозяйства РФ, более 50% сельхозугодий Южного федерального округа подвержены процессам физической деградации. Основными драйверами выступают не только несанкционированные свалки или применение пестицидов, но и линейная инфраструктура: магистральные нефтепроводы, пересекающие пахотные массивы. Аварийные разливы и хроническое поступление углеводородов от авто- и железнодорожного транспорта формируют очаги техногенного прессинга. Способность почвы к самовосстановлению лимитируется комплексом факторов: гранулометрическим составом, термическим режимом, активностью аборигенной микрофлоры. Разложение циклических и высокомолекулярных фракций углеводородов (асфальтенов, смол) в естественных условиях может растягиваться на 15-25 лет, что экономически неприемлемо для сельхозтоваропроизводителя [4, 7].

Принципиально важно различать природу загрязнителей. Если органические поллютанты (нефтяные углеводороды) способны к деструкции

под действием микробиоты, то тяжелые металлы такими свойствами не обладают. Накапливаясь в почвах, а затем в растительных и животных организмах по пищевой цепи, они способны вызывать опасные заболевания [1, 3]. Основными источниками поступления тяжелых металлов (цинк, свинец, медь, никель, кадмий, мышьяк) выступают промышленные предприятия и автотранспорт. Почвы города Волгограда и Волгоградской области, включая земли сельскохозяйственного назначения, прилегающие к промышленным зонам и крупным автомагистралям, испытывают мощную техногенную нагрузку.

Анализ современных подходов к рекультивации показывает, что наиболее перспективным направлением является разработка мелиорантов пролонгированного действия. Они должны не только сорбировать токсиканты, но и инициировать восстановление нативной структуры почвы, стимулируя увеличение численности почвенной биоты [5]. В этом контексте особый интерес представляют природные цеолиты и гуминовые кислоты. Первые, обладая высокой пористостью и катионообменной способностью, выступают в роли структурообразователей. Вторые, являясь активными компонентами гумуса, катализируют метаболические процессы в растениях и микроорганизмах и способны образовывать устойчивые водонерастворимые соединения с ионами тяжелых металлов, нейтрализуя их негативное воздействие.

Устойчивость кристаллической решетки природных цеолитов к разрушению позволяет модифицировать их различными химическими способами, изменяя и улучшая одновременно их свойства.

Таким образом, необходимость поиска и применения эффективных способов очистки и рекультивации почв от поллютантов различной природы очевидна. Природные сорбенты-мелиоранты на основе цеолитов и гуминовых кислот способны решать эту проблему комплексно.

Целью настоящей работы являлось научное обоснование и экспериментальное подтверждение эффективности применения комплексных гумино-кремниевых мелиорантов для улучшения агрофизических свойств почв, стимуляции восстановительных процессов в условиях нефтезагрязнения и детоксикации тяжелых металлов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Разработать состав и технологию подготовки мелиорантов на основе природного цеолита (клиноптилолита) и гуминовой кислоты, включая химическую модификацию цеолита для повышения сорбционной емкости.

2. В полевых условиях провести сравнительный анализ динамики агрофизических показателей светло-каштановой почвы при внесении разработанных составов.

3. Исследовать динамику извлечения ионов тяжелых металлов (никеля, меди, мышьяка) из загрязненных почв при проведении рекультивационных мероприятий с внесением гумино-кремниевого мелиоранта.

4. Определить оптимальные дозы внесения мелиоранта в зависимости от класса опасности и уровня превышения ПДК тяжелых металлов.

5. Оценить влияние мелиорантов на биологическую продуктивность почвы через показатель всхожести семян сельскохозяйственных культур.

Объектом исследования выступили светло-каштановые среднесуглинистые почвы Волгоградской области [4]. Методология полевого опыта базировалась на принципах системного анализа и стандартных агрофизических методах.

Полевой эксперимент проводился на участке размером 6,0×1,0 м, который был разделен на три делянки. Первая делянка служила контролем. На вторую делянку вносили вермикулит (фракция 2...5 мм) в дозировке 5 кг/м². Третья делянка была разделена на две части для тестирования двух модификаций разработанного состава:

Состав I: природный цеолит (фракция 5 мм, клиноптилолит 50%), замоченный в 30% растворе гуминовой кислоты в течение 40 минут. Соотношение масс, %: цеолит – 80, гуминовая кислота – 20.

Состав II: природный цеолит (фракция 3 мм, клиноптилолит 75%), замоченный в 35% растворе гуминовой кислоты в течение 25 минут. Соотношение масс, %: цеолит – 92, гуминовая кислота – 8.

Отбор проб для определения агрофизических характеристик проводили в четыре этапа: в день внесения, через 20, 40 и 60 суток. Плотность сложения определяли буровым методом по Качинскому (цилиндры объемом 100 см³). Плотность твердой фазы определяли пикнометрическим методом. Предельную полевую влагоемкость (ППВ) находили методом заливки площадок.

Для оценки биологической эффективности на каждой делянке закладывали микроделянки (0,5×1,0 м) для посева тест-культур: перец сладкий сорт «Белозерка», томат сорт «Волгоградский розовый», морковь гибрид «Тангерина F1». Посев проводили в трехкратной повторности по 100 семян

на вариант. Учитывали энергию прорастания и лабораторную всхожесть по стандартным методикам.

Лабораторный эксперимент (тяжелые металлы). Объединенные почвенные пробы отбирали на территории г. Волгограда и Городищенского, Светлоярского, Фроловского районов вблизи промышленных предприятий и транспортных магистралей в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84. Превышение ПДК было обнаружено по никелю, меди и мышьяку. Измерение содержания тяжелых металлов в почве осуществляли методом колориметрии. Полученные показатели сравнивались со значениями ПДК (таблица 2.11).

Таблица 2.11 – Предельно допустимые концентрации никеля, меди и мышьяка в предварительно загрязненной почве

Наименование тяжелого металла	ПДК в почве, мг/кг (подвижная/валовая форма)
Никель (Ni)	4,0
Медь (Cu)	3,0
Мышьяк (As)	2,0

Для сравнительной характеристики качественного состояния почв по уровню содержания того или иного металла рассчитывали коэффициент качественного состояния почвы по металлу:

$$K_{\text{сп}} = \frac{N}{F}, \quad (2.1)$$

где: N - значение ПДК металла в почве; F - фактическое значение содержания металла в почве

Параллельно на реперных участках с моделью нефтезагрязнения (исходная концентрация от 20 до 70 г/кг) отслеживали динамику остаточного содержания углеводородов методом ИК-спектрометрии (концентратор АН-2) после внесения ГМС.

Результаты наблюдений свидетельствует о выраженной нелинейности кинетических кривых сорбции исследуемых элементов. Отчетливо прослеживается общая закономерность: максимальная скорость извлечения поллютантов приходится на начальную фазу эксперимента с последующим закономерным затуханием процесса. На рисунке 2.9 показана динамика извлечения тяжелых металлов из исследуемой почвы

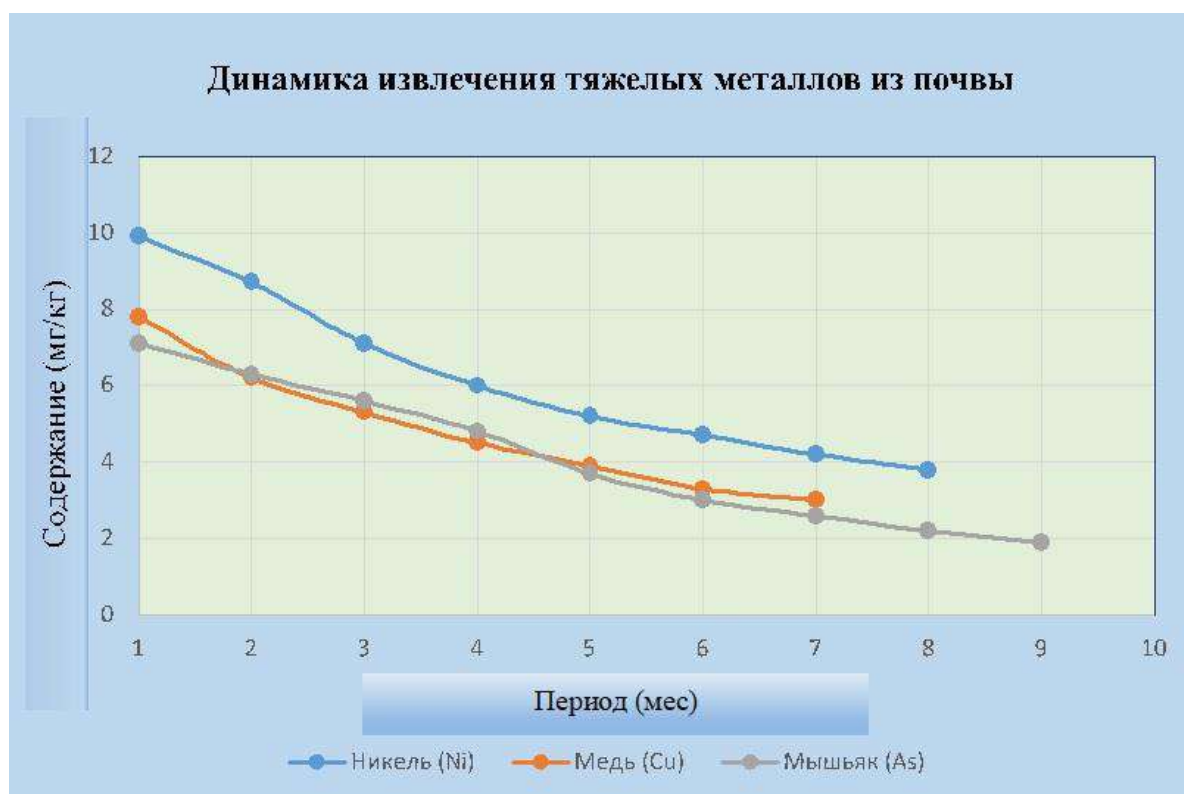


Рисунок 2.9 – Динамика извлечения тяжелых металлов из почвы в результате применения гумино-кремниевого мелиоранта

Подобный характер кривых вполне объясним с позиций классической теории сорбции – по мере заполнения активных центров поверхности сорбента и уменьшения градиента концентраций в системе «твердая фаза почвы – сорбент» диффузионные потоки замедляются, и процесс переходит в стадию внутридиффузионной кинетики.

Наибольший интерес представляет специфика поведения мышьяка. В отличие от никеля и меди, где с самого начала фиксируется интенсивный съем металла, в течение первых трех месяцев эксперимента скорость извлечения остается практически неизменной. Лишь к четвертому месяцу фиксируется некоторое ускорение процесса, после чего сорбция вновь выходит на квазистационарный режим и остается таковой вплоть до завершающего этапа эксперимента. Снижение скорости извлечения отмечается только в последний месяц перед достижением нормативных показателей, что вполне естественно при приближении к равновесным концентрациям.

Для никеля и меди, напротив, характерна классическая двухстадийная кинетика: быстрая начальная сорбция, обусловленная прежде всего ионным обменом на внешней поверхности и в макропорах модифицированного цеолита. Такое различие в поведении элементов необходимо учитывать при

прогнозировании сроков рекультивации и корректировке режимов увлажнения в ходе биологической активной фазы восстановления почв.

Исследование влияния мелиорантов на биологическую активность (табл. 2.12) выявило прямую корреляцию с улучшением водно-физических свойств.

Таблица 2.12 – Влияние мелиорантов на всхожесть семян, %

Вариант	Перец «Белозерка»	Томат «Волгоградский розовый»	Морковь «Тангерина F1»
Контроль	76	78	72
Вермикулит	82	86	88
Состав I	98	98	95
Состав II	98	96	94

Применение составов I и II обеспечило повышение всхожести по сравнению с контролем на 20...23%. Важно отметить, что прирост на фоне вермикулита также значителен, но уступает разработанным мелиорантам. Полагаем, что это связано не только с водным и воздушным режимами, но и с прямым стимулирующим действием гуминовых веществ на метаболизм. Гуминовые кислоты, сорбированные на цеолите, выполняют роль пролонгированного биостимулятора, тогда как вермикулит обеспечивает только физическую поддержку.

Проведенные эксперименты по рекультивации нефтезагрязненных почв (табл. 2.13) демонстрируют принципиальную возможность сокращения сроков рекультивации нефтезагрязненных земель до 6 месяцев при использовании гумино-кремниевого мелиоранта.

Таблица 2.13 – Показатели содержания нефтезагрязнений в почве после внесения гумино-кремниевого мелиоранта

Исходное загрязнение, г/кг	Остаточное загрязнение после внесения препарата, г/кг		
	1 месяц	3 месяца	6 месяцев
До 20	12,1	3,59	-
20-40	23,1	5,1	-
40-70	35,6	11,2	1

На участках с исходным загрязнением 40...70 г/кг к шестому месяцу остаточное содержание углеводов достигло 1 г/кг, что подтверждает

эффективность разработанного подхода. Высокая порозность аэрации (13,5...16,1%), создаваемая мелиорантом, обеспечивает оптимальные условия для жизнедеятельности аэробных углеводородокисляющих бактерий, что критически важно при рекультивации нефтезагрязнений. Это подтверждает тезис о том, что разработанный мелиорант выступает не просто сорбентом, а именно катализатором, запускающим механизмы самоочищения за счет оптимизации трофических и дыхательных условий для почвенного микробиома.

Выводы

1. Разработаны и апробированы в полевых условиях гумино-кремниевые мелиоранты пролонгированного действия на основе модифицированного природного цеолита и гуминовых кислот. Установлено, что кислотная модификация цеолита (3% раствор HCl или 6% раствор CH_3COOH) позволяет увеличить удельную поверхность минерала и общий объем пор на 41...46%, что существенно повышает сорбционные свойства препарата. Оптимальным с точки зрения агрофизического воздействия является состав с фракцией цеолита 3 мм и содержанием гуминовой кислоты 8% (состав II), обеспечивающий равномерное распределение активного вещества в почвенном профиле.

2. Выявлен значительный агрономический эффект: улучшение физических свойств и наличие биологически активных гуминовых веществ в составе мелиоранта обеспечивает повышение полевой всхожести семян перца, томата и моркови на 20...23%. Это создает предпосылки для снижения норм посева и получения более выровненных и дружных всходов.

3. Разработан способ применения гумино-кремниевого мелиоранта для очистки почв, загрязненных тяжелыми металлами. Экспериментально подтверждена эффективность применения гумино-кремниевого мелиоранта, в результате которого в течение одного вегетационного периода произошло снижение содержания исследуемых поллютантов до уровня ПДК.

4. Подтверждена высокая эффективность применения гумино-кремниевого мелиоранта для рекультивации нефтезагрязненных почв: при исходном загрязнении до 70 г/кг остаточное содержание углеводов достигает 1 г/кг через 6 месяцев, что соответствует нормативным требованиям. Высокая порозность аэрации, создаваемая мелиорантом, интенсифицирует микробиологическую деструкцию углеводов.

Таким образом, комплексный анализ позволяет утверждать, что применение природоподобных мелиорантов, имитирующих и усиливающих естественные процессы гумусообразования и структурообразования, является

высокоэффективным методом ускоренной рекультивации техногенно-нарушенных земель. Сокращение сроков восстановления почвенного плодородия (до одного вегетационного сезона) имеет не только экологическое, но и выраженное экономическое значение для сельскохозяйственного производства в условиях Нижнего Поволжья.

Список использованных источников

1. Воробьева Е.В. Анализ методов очистки и восстановления почв от загрязнений нефтью и нефтепродуктами / Е.В. Воробьева, Е.А. Новикова, Е.С. Чавкина // В сборнике: Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы - Биомедсистемы-2024. Сборник трудов XXXVII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань, 2024. С. 105-109.
2. Досова А.Г. Управление рекультивацией нарушенных земель: цифровая трансформация и региональные особенности / А.Г. Досова, А.А. Карпова, М.П. Мещеряков, Е.Г. Мещерякова, В.В. Левченко // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 8. С. 291-298.
3. Ковалева Е.И. Эффективность ремедиантов для детоксикации почв, загрязненных тяжелыми металлами, по результатам лабораторного эксперимента / Е.И. Ковалева, П.М. Перебасова, Д.А. Авдулов, Д.В. Ладонин, С.Я. Трофимов // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2024. № 2. С. 105-118.
4. Мещеряков М.П. Оценка эффективности применения модифицированного сорбента на техногенно загрязненных почвах / М.П. Мещеряков, В.Н. Хавронина, Н.В. Кузнецова, С.В. Тронева, Е.Г. Мещерякова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 3 (67). С. 438-445.
5. Невидомская Д.Г. Интегральная оценка загрязнения тяжелыми металлами почв устьевой области реки Дон / Д.Г. Невидомская, Т.М. Минкина, Ю.А. Федоров, Н.Е. Кравцова, Ю.А. Литвинов // В сборнике: Актуальные проблемы экологии и природопользования. сборник научных трудов XXI Международной научно-практической конференции: в 3 т. 2020. С. 438-442.
6. Овчинников А.С. Исследование природных сорбирующих мелиорантов при водосберегающем орошении / А.С. Овчинников, Е.П. Боровой, М.П. Мещеряков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 1 (25). С. 3-7.
7. Турковская О.В. Фиторемедиационный потенциал сорго веничного для очистки земель от углеводородов нефти и тяжелых металлов / О.В. Турковская, А.Ю. Муратова, Е.В. Дубровская, А.Д. Бондаренкова, Е.В. Любунь // Аграрный научный журнал. 2020. № 12. С. 50-54.

References

1. Vorobyeva E.V. Analysis of Methods for Cleaning and Restoring Soils from Oil and Petroleum Product Contaminants / E.V. Vorobyeva, E.A. Novikova, E.S. Chavkina // In the collection: Biotechnical, Medical, and Environmental Systems, Measuring Devices, and Robotic Complexes

- Biomedsystems-2024. Collection of Papers from the XXXVII All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Young Scientists, and Specialists. Ryazan, 2024. Pp. 105-109.
- 2. Dosova A.G. Management of the Reclamation of Damaged Lands: Digital Transformation and Regional Features / A.G. Dosova, A.A. Karpova, M.P. Meshcheryakov, E.G. Meshcheryakova, V.V. Levchenko // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2025. No. 8. Pp. 291-298.
- 3. Kovaleva E.I. The Effectiveness of Remedians for the Detoxification of Heavy Metal-Contaminated Soils Based on Laboratory Experiments / E.I. Kovaleva, P.M. Perebasova, D.A. Avdulov, D.V. Ladonin, and S.Ya. Trofimov // Bulletin of Moscow University. Series 17: Soil Science. 2024. No. 2. Pp. 105-118.
- 4. Meshcheryakov M.P. Evaluation of the Effectiveness of Using a Modified Sorbent on Technogenically Contaminated Soils / M.P. Meshcheryakov, V.N. Khavronina, N.V. Kuznetsova, S.V. Tronev, and E.G. Meshcheryakova // Izvestiya of the Nizhny Novgorod Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2022. No. 3 (67). Pp. 438-445.
- 5. Nevidomskaya D.G. Integral assessment of heavy metal pollution in the soils of the mouth area of the Don River / D.G. Nevidomskaya, T.M. Minkina, Yu.A. Fedorov, N.E. Kravtsova, and Yu.A. Litvinov // In the collection: Actual Problems of Ecology and Nature Management. Collection of scientific papers of the XXI International Scientific and Practical Conference: in 3 volumes. 2020. Pp. 438-442.
- 6. Ovchinnikov A.S. Research of Natural Sorbing Ameliorants in Water-Saving Irrigation / A.S. Ovchinnikov, E.P. Borovoyv, and M.P. Meshcheryakov // Izvestiya of the Nizhny Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2012. No. 1 (25). Pp. 3-7.
- 7. Turkovskaya O.V. Phytoremediation potential of broom sorghum for cleaning lands from petroleum hydrocarbons and heavy metals / O.V. Turkovskaya, A.Yu. Muratova, E.V. Dubrovskaya, A.D. Bondarenkova, E.V. Lyubun // Agrarian Scientific Journal. 2020. No. 12. Pp. 50-54.

2.8 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ МЕЛИОРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИЙ

Состояние мелиорированных сельскохозяйственных земель во многом определяет не только уровень их продуктивности, но и устойчивость агроландшафтов в целом. Для таких территорий особенно важны условия увлажнения, поскольку как избыток влаги, так и её недостаток напрямую отражаются на состоянии почвенного покрова, развитии растений и эффективности использования земельных ресурсов. Дополнительную сложность представляет пространственная неоднородность почв, из-за которой даже в пределах одного поля могут формироваться участки с различными условиями функционирования.

В этой связи всё большую роль играют методы дистанционного зондирования Земли, которые позволяют получать оперативную информацию

о состоянии сельскохозяйственных угодий без проведения сплошных полевых обследований. Спутниковые данные дают возможность отслеживать особенности развития растительности, оценивать распределение влаги и выявлять различия в состоянии отдельных участков в пределах вегетационного сезона. В качестве исходной информации в подобных исследованиях часто используются снимки Sentinel-2, поскольку они содержат набор спектральных каналов, пригодных для анализа сельскохозяйственных территорий, и обладают достаточным пространственным разрешением для работы на уровне отдельных полей.

При исследовании спутниковых снимков наибольший интерес представляют спектральные индексы, которые позволяют по отражательным характеристикам поверхности делать выводы о её состоянии. Их применение особенно актуально при изучении мелиорированных земель, где важно учитывать параметры развития растений.

Целью настоящего исследования являлась оценка возможностей данных дистанционного зондирования Земли для выявления пространственной неоднородности мелиоративного состояния сельскохозяйственных угодий на основе анализа спутниковых изображений, полученных в течение вегетационного периода. Актуальность такой постановки задачи обусловлена тем, что дистанционные методы позволяют оперативно получать информацию о состоянии земель на больших площадях, выявлять участки с признаками переувлажнения, угнетения растительности и других неблагоприятных процессов, которые не всегда могут быть своевременно зафиксированы только в ходе наземных обследований. В научных публикациях по мелиоративному мониторингу также отмечается, что материалы дистанционного зондирования особенно эффективны при анализе пространственно неоднородных территорий, где важна не только общая характеристика участка, но и различия между его отдельными частями.

В качестве исходных данных в работе использовались мультиспектральные спутниковые снимки Sentinel-2, полученные в течение вегетационного периода 2025 года. Выбор именно этих данных связан с тем, что они позволяют достаточно детально рассматривать сельскохозяйственные угодья: пространственное разрешение порядка 10 м даёт возможность различать отдельные поля и даже неоднородности внутри них. Для анализа подбирались изображения с минимальной облачностью, так как наличие облаков и их теней заметно ухудшает качество интерпретации и может искажать значения спектральных показателей [2].

Снимки отбирались таким образом, чтобы охватить разные этапы вегетационного сезона - от начала активного роста растительности до второй половины лета. Это позволило не просто зафиксировать состояние территории в один момент времени, а проследить, как оно меняется по ходу сезона. В итоге появилась возможность сравнивать участки между собой и видеть, сохраняются ли различия или, наоборот, сглаживаются.

Обработка спутниковых данных выполнялась в программе QGIS. На первом этапе проводилась загрузка и просмотр исходных изображений, после чего выбирались необходимые спектральные каналы. Далее выполнялся расчёт индексных изображений. В работе использовались три показателя: NDVI, NDMI и NDWI, которые позволяют оценивать разные стороны состояния территории.

Индекс NDVI применялся для общей характеристики растительного покрова и позволял оценить, насколько активно развивается растительность на разных участках. NDMI использовался для анализа влагообеспеченности почвенно-растительного слоя, что особенно важно для мелиорированных земель, где водный режим играет ключевую роль. Индекс NDWI рассматривался как дополнительный показатель, позволяющий выявлять участки с более выраженным поверхностным увлажнением и отслеживать особенности распределения влаги.

После получения индексных изображений проводилось их сопоставление между собой и анализ их пространственного распределения. Основное внимание уделялось участкам, которые заметно отличались от окружающих территорий и сохраняли эти различия на разных датах съёмки. Такие зоны рассматривались как потенциально неоднородные по мелиоративному состоянию.

На заключительном этапе выполнялась интерпретация полученных результатов. Анализировалось, как распределяются значения индексов в пределах исследуемой территории, какие участки можно выделить по уровню увлажнения и состоянию растительности, а также насколько согласуются между собой данные разных индексов. Это позволило получить общее представление о пространственной структуре исследуемого участка и выявить наиболее выраженные различия в его состоянии.

В рамках исследования проведена обработка мультиспектральных снимков, полученных со спутника Sentinel-2. Для каждого из них рассчитывались индексы NDVI, NDMI и NDWI, которые дают представление о состоянии растительности, увлажнённости поверхности и водном режиме в целом. Полученные в итоге материалы позволили увидеть, насколько

неоднородна территория по почвенно-растительным условиям, и выделить участки, где влагообеспеченность и развитие растений заметно различаются. Анализ рассчитанных индексов позволил рассмотреть исследуемую территорию с позиций её мелиоративного состояния и установить наиболее выраженные особенности распределения спектральных показателей в пределах вегетационного периода. [4]

Для сельскохозяйственных и мелиорированных земель NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) представляет интерес прежде всего потому, что по нему можно судить о состоянии растительности, а значит – косвенно и об условиях, в которых она развивается. Если растения обеспечены влагой и находятся в более благоприятной среде, значения индекса обычно выше. Если же участок испытывает дефицит влаги или отличается неблагоприятными почвенными условиями, это часто отражается и на значениях NDVI. Вегетационный индекс NDVI определяется по зависимости (2.2):

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}, \quad (2.2)$$

где: NIR – отражение в ближнем инфракрасном диапазоне, а Red – отражение в красной части спектра. При работе со снимками Sentinel-2 для NDVI используются каналы B8 и B4. [3]

Практическая ценность NDVI в исследованиях мелиорированных земель связана с тем, что состояние растительности достаточно хорошо отражает условия, в которых развивается агроценоз. Если растения обеспечены влагой и находятся в более благоприятных условиях, значения индекса, как правило, выше. Напротив, снижение NDVI может быть связано с недостатком влаги, угнетением посевов, неоднородностью почвенного покрова или другими неблагоприятными факторами, влияющими на развитие сельскохозяйственных культур [3].

Неоднородностью растительного покрова на изучаемой территории показана на рисунке 2.10.

Уже по снимку, сделанному в начале мая, видно, что отдельные поля имеют различные значения вегетационного индекса. Такая картина, по-видимому, складывается под влиянием нескольких факторов: неодинакового увлажнения, почвенных особенностей и разной интенсивности развития посевов.

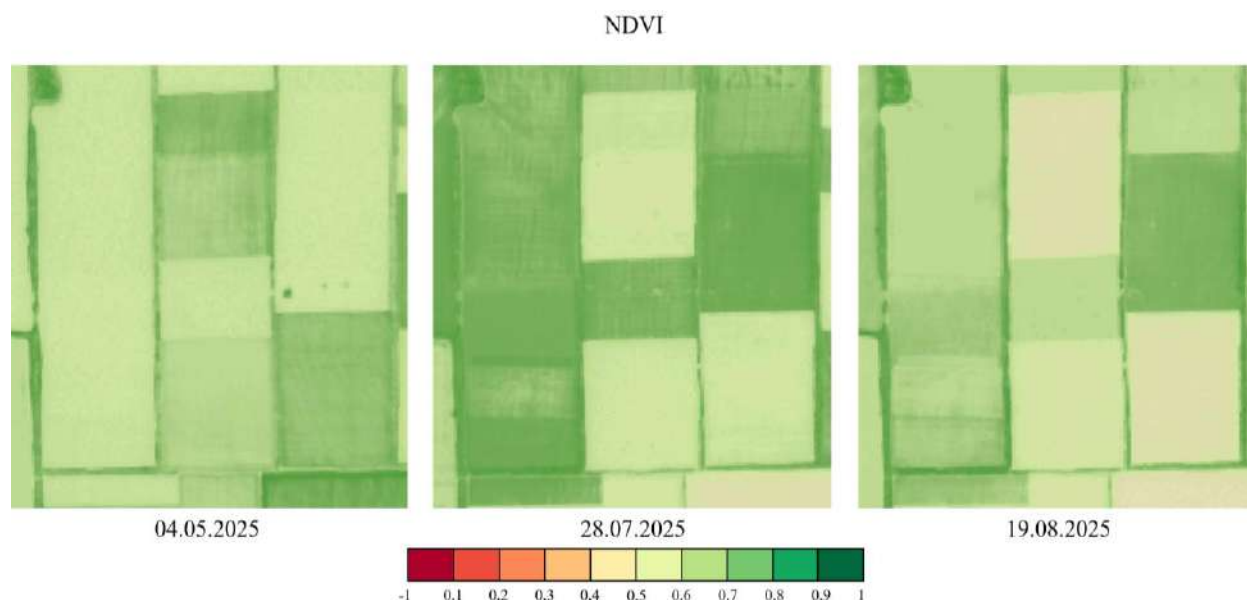


Рисунок 2.10 – Динамика индекса NDVI на мелиорированных сельскохозяйственных территориях в 2025 году

Наибольшие значения NDVI зафиксированы на изображении от 28 июля 2025 года – в это время растительность находится в фазе активного развития. Здесь некоторые поля выделяются более высокой биомассой и, очевидно, находятся в лучших условиях для роста. К 19 августа на ряде участков уже видно снижение индекса, что объясняется как естественной сменой фаз развития культур, так и тем, что неоднородность увлажнения на территории сохраняется.

Индекс NDMI (Normalized Difference Moisture Index) используется для оценки уровня увлажнённости почвенно-растительного покрова и позволяет выявлять особенности распределения влаги на исследуемой территории. Его использование особенно оправдано в тех случаях, когда необходимо проследить различия в распределении влаги и выделить участки с неодинаковыми условиями водного режима. По своей сути NDMI основан на сопоставлении отражательной способности поверхности в ближнем и коротковолновом инфракрасных диапазонах спектра. Спектральный индекс для NDMI определяется по формуле (2.3):

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}, \quad (2.3)$$

где: NIR – отражение в ближнем инфракрасном диапазоне, а SWIR – отражение в коротковолновом инфракрасном диапазоне. При работе со снимками Sentinel-2 для этого используются каналы B8 и B11.

Практическая значимость данного индекса заключается в том, что он позволяет судить о степени увлажнённости территории не по отдельным точкам, а сразу в пределах всего исследуемого участка. Для мелиорированных земель это особенно важно, поскольку различия во влагообеспеченности часто связаны не только с погодными условиями, но и с состоянием почв, особенностями рельефа, а также эффективностью работы водорегулирующих и дренажных систем. Как правило, более высокие значения индекса соответствуют участкам с повышенным содержанием влаги, тогда как пониженные значения чаще характерны для более сухих территорий [5, 1].

На рисунке 2.11 показаны изменения значений индекса NDMI в течение вегетационного периода 2025 года.

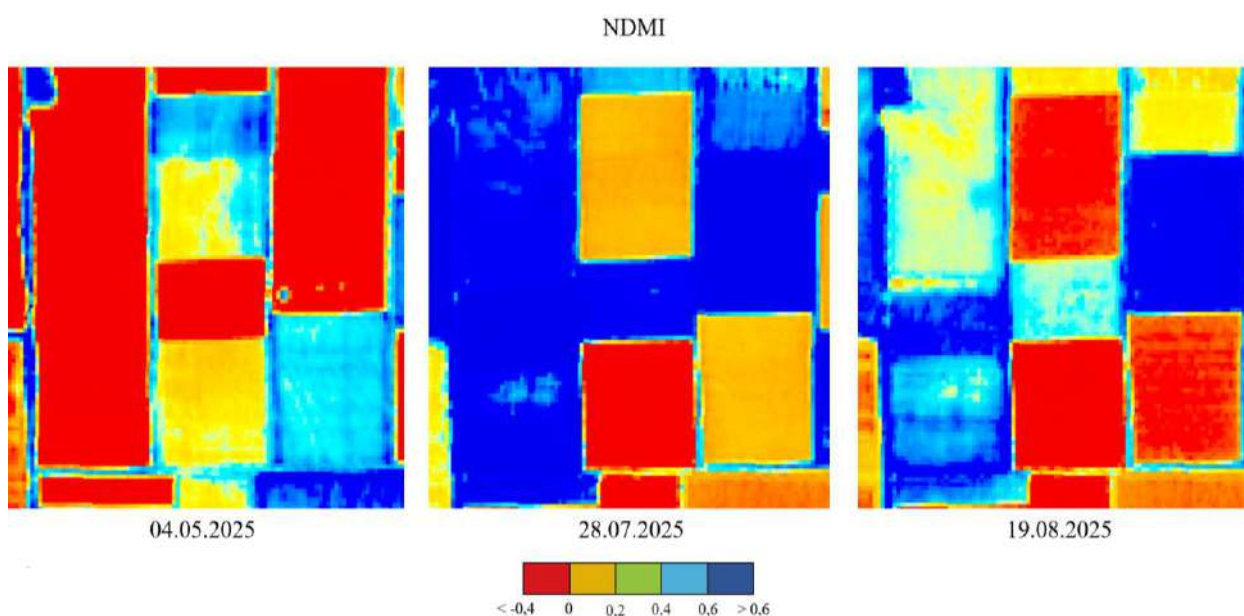


Рисунок 2.11 – Динамика индекса NDMI на мелиорированных сельскохозяйственных территориях в 2025 году

Различия между отдельными полями и их частями по степени увлажнённости заметны уже на изображении от 04 мая 2025. Это может указывать на неодинаковые почвенные условия, различную влагоёмкость почв и особенности распределения влаги в пределах исследуемой территории.

К середине лета, на снимке от 28.07.2025, данная неоднородность сохраняется и проявляется ещё отчётливее. Часть полей выделяется более высокими значениями индекса, тогда как другие участки, напротив, характеризуются пониженным уровнем увлажнения. Подобная картина может быть связана с различиями в водно-физических свойствах почв, интенсивности испарения и способности отдельных участков удерживать влагу в условиях летнего периода. На снимке от 19.08.2025 различия

по уровню увлажнённости между отдельными сельскохозяйственными участками остаются хорошо заметными. Даже к концу рассматриваемого периода территория не выравнивается по условиям влагообеспечения: часть полей продолжает выделяться более высокими или, напротив, более низкими значениями индекса. Подобная картина указывает на то, что распределение влаги в пределах исследуемой площади носит устойчиво неоднородный характер и, вероятно, связано как с различиями в свойствах почв, так и с особенностями водного режима отдельных участков.

Изображения NDMI оказались информативными при рассмотрении мелиорированных земель, поскольку по ним достаточно отчётливо прослеживаются зоны с различной степенью увлажнения. Это даёт возможность использовать данный индекс не только для общей оценки водного режима территории, но и для выделения участков, которые потенциально отличаются по условиям функционирования и требуют более внимательного анализа.

Индекс NDWI (Normalized Difference Water Index) удобен в тех случаях, когда требуется оценить, как именно распределяется влага на поверхности исследуемой территории. Для сельскохозяйственных земель это имеет важное значение, поскольку по его значениям можно выделить участки, отличающиеся по степени увлажнения и характеру накопления влаги. В основе этого показателя лежит различие отражательной способности поверхности в зелёной и ближней инфракрасной частях спектра. Спектральный индекс для NDWI определяется по формуле (2.4):

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}, \quad (2.4)$$

где: Green соответствует отражению в зелёном диапазоне, а NIR – в ближнем инфракрасном. При обработке материалов Sentinel-2 для его построения используются каналы B3 и B8.

Практическая ценность NDWI состоит в том, что он помогает обнаруживать участки, где влага накапливается в большей степени, чем на соседних территориях. Подобные особенности часто связаны с локальными понижениями рельефа, нарушением поверхностного стока или склонностью отдельных участков к переувлажнению. Более высокие значения индекса обычно наблюдаются там, где поверхность дольше удерживает влагу, тогда как пониженные значения чаще характерны для более сухих участков. В условиях мелиорированных земель такой показатель удобен для выявления

пространственных различий водного режима и уточнения характера увлажнения в пределах сельскохозяйственных угодий [7].

На рисунке 2.12 отражено изменение значений NDWI на исследуемой территории в течение вегетационного периода 2025 года.

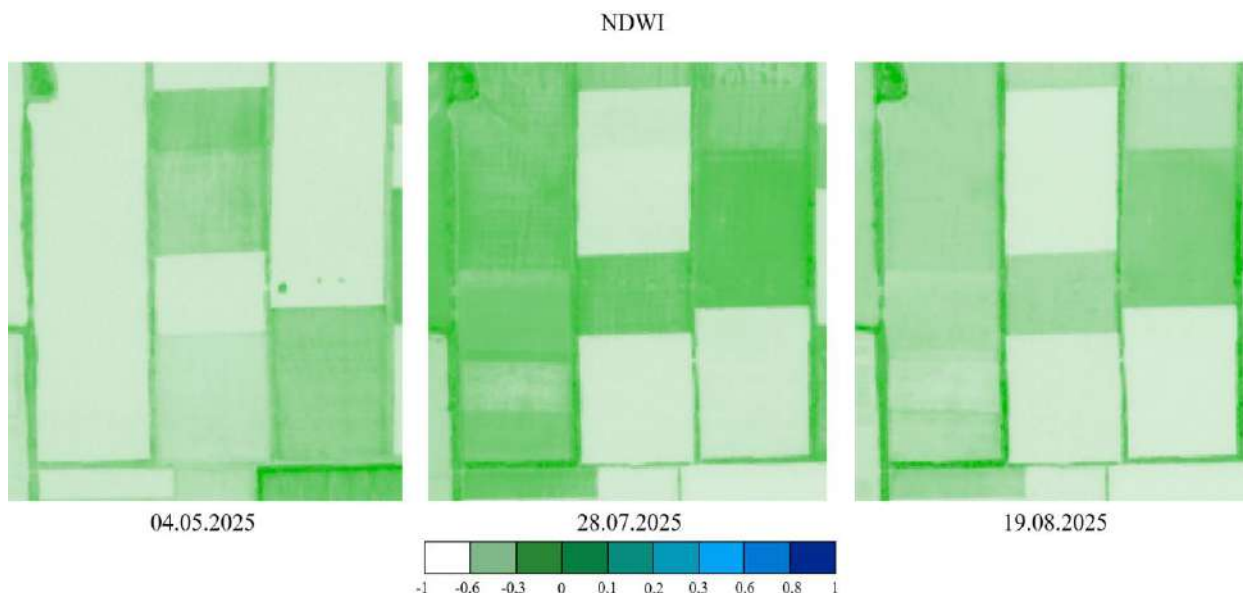


Рисунок 2.12 – Динамика индекса NDWI на мелиорированных сельскохозяйственных территориях в 2025 году

Уже на первом снимке заметно, что отдельные поля различаются по характеру поверхностного увлажнения. Это позволяет предположить, что даже на раннем этапе сезона условия распределения влаги по территории остаются неодинаковыми. Часть участков выглядит более увлажнённой, тогда как другие поля характеризуются меньшим накоплением влаги.

На изображении от 28.07.2025 различия между отдельными участками становятся более отчётливыми. В этот период на территории хорошо выделяются поля с повышенными и пониженными значениями индекса. Подобные различия, скорее всего, объясняются тем, что отдельные участки по-разному удерживают влагу - это зависит и от свойств почвы, и от того, как вода перераспределяется по территории. На снимке от 19 августа 2025 года видно, что пространственная неоднородность сохраняется: поля по-прежнему заметно контрастируют друг с другом по характеру увлажнения. Такая устойчивая мозаичность, по-видимому, связана не только с микрорельефом, но и с тем, что мелиоративное состояние отдельных участков неодинаково.

Проведённый анализ NDWI показал, что с помощью этого индекса удобно отслеживать, как именно распределяется влага на поверхности исследуемой территории. Он позволяет выделять участки, где есть признаки

переувлажнения, и на основе этого давать общую характеристику того, насколько равномерно увлажнение распределено по сельскохозяйственным землям.

Для систематизации основных характеристик спектральных индексов, использованных в исследовании, составлена таблица 2.14, в которой приведены их расчётные формулы, интерпретируемые показатели, а также практическая значимость при оценке мелиоративного состояния территории.

Таблица 2.14 - Сравнительная характеристика спектральных индексов, использованных в исследовании

Спектральный индекс	Характеристика параметра	Практическая интерпретация в сельское хозяйство
Normalized Difference Vegetation Index	Состояние растительности	Выявление угнетенных и более продуктивных участков
Normalized Difference Moisture Index	Увлажнённость почвы	Выявление сухих и переувлажненных зон
Normalized Difference Water Index	Поверхностная влага	Выявление участков застоя воды и локального переувлажнения

Представленные спектральные индексы характеризуют различные стороны состояния исследуемой территории и в совокупности позволяют более полно оценить её мелиоративные особенности. Индекс NDVI отражает состояние растительного покрова, NDMI характеризует степень увлажнённости почвенно-растительного слоя, а NDWI позволяет уточнить особенности поверхностного увлажнения и распределения влаги.

Выводы. Проведённая работа показала, что спутниковые снимки Sentinel-2 действительно можно использовать для оценки мелиоративного состояния сельскохозяйственных земель. По полученным материалам хорошо видно, что исследуемая территория отличается выраженной неоднородностью, причём это проявляется как в состоянии растительности, так и в распределении влаги. Анализ NDVI показал, что отдельные поля и даже их части развиваются по-разному, что, вероятно, связано с различиями в увлажнении, почвенных условиях и общем состоянии агроландшафта. По данным NDMI удалось установить, что уровень влагообеспеченности на участке также неодинаков и сохраняет заметные различия на протяжении всего вегетационного периода. Это позволяет говорить о неоднородности водного режима и разной способности почв удерживать влагу. Индекс NDWI,

в свою очередь, помог дополнительно проследить особенности поверхностного увлажнения и выделить участки, где влага распределяется неравномерно. В целом использование нескольких спектральных индексов одновременно оказалось более информативным, чем анализ только одного показателя, поскольку позволило рассмотреть территорию сразу с нескольких сторон – по состоянию растительности, степени увлажнения и характеру распределения влаги. Полученные результаты подтверждают, что методы дистанционного зондирования Земли могут быть полезны при оценке мелиоративного состояния сельскохозяйственных территорий и выявлении участков, требующих более детального внимания.

Список использованных источников

1. Боровков, А.А. Мультиспектральные изображения агроландшафтов как инструмент выявления неоднородности почвенного плодородия / А.А. Боровков, Ю.А. Азаренко // Вестник ОмГАУ. - 2023. - № 2 (50). - С. 5-15.
2. Бычков, И.В. Классификация космоснимков Sentinel-2 Байкальской природной территории / И.В. Бычков, Г.М. Ружников, Р.К. Федоров [и др.] // Компьютерная оптика. - 2022. - Т. 46, № 1. – С. 90-96.
3. Зарубин, О.А. Использование многозональных космических снимков для целей геоинформационного мониторинга и анализа пространственных характеристик сельскохозяйственного землепользования / О.А. Зарубин, А.В. Ларина, В.А. Саулин, В.А. Шабайкина // Вектор ГеоНаук. - 2020. - Т.3. №2. - С. 37-50.
4. Зверьков, М.С. Оценка мелиоративного состояния гидромелиоративной системы с использованием данных дистанционного зондирования земли и беспилотного летательного аппарата / М.С. Зверьков, С.В. Брыль // Природообустройство. - 2021. - № 2. - С. 6-16.
5. Зверьков, М.С. Анализ индекса NDMI при дешифрировании спутниковых снимков орошаемых земель / М.С. Зверьков, С.С. Смелова, С.В. Брыль [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. - 2025. - № 3. - С. 33-36.
6. Романов, В.А. Сравнение способов классификации данных при спутниковом мониторинге процесса опустынивания / В.А. Романов // Научно-агрономический журнал. - 2022. - № 2 (117). - С. 25-29.
7. Семенова, К.С. Оценка состояния подземных инженерных сооружений мелиоративной системы с помощью карт влажности, полученных на основе данных дистанционного зондирования земли беспилотным летательным аппаратом DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRA / К.С. Семенова // Природообустройство. - 2023. - № 3. - С. 31-37.

References

1. Borovkov, A.A. Multispectral images of agricultural landscapes as a tool for detecting heterogeneity of soil fertility / A.A. Borovkov, Yu.A. Azarenko // OmGAU Bulletin. - 2023. - № 2 (50). - Pp. 5-15.

2. Bychkov, I.V. Classification of Sentinel-2 satellite images of the Baikal natural territory / I.V. Bychkov, G.M. Ruzhnikov, R.K. Fedorov [et al.] // Computer optics. - 2022. - Vol. 46, No. 1. – pp. 90-96.
3. Zarubin, O.A. The use of multi-zone satellite images for the purposes of geoinformation monitoring and analysis of spatial characteristics of agricultural land use / O.A. Zarubin, A.V. Larina, V.A. Saulin, V.A. Shabaikina // Vector Geosciences. - 2020. - Vol. 3. No. 2. - pp. 37-50.
4. Zverkov, M. Assessment of the reclamation state of the hydro-reclamation system using data from remote sensing of the earth and an unmanned aerial vehicle / M.S. Zverkov, S.V. Bryl // Environmental management. - 2021. - No. 2. - pp. 6-16.
5. Zverkov, M.S. Analysis of the NDMI index when decoding satellite images of irrigated lands / M.S. Zverkov, S.S. Smelova, S.V. Bryl [et al.] // Land reclamation and water management. 2025. No. 3. pp. 33-36.
6. Romanov, V.A. Comparison of data classification methods for satellite monitoring of the desertification process / V.A. Romanov // Scientific and Agronomic Journal. - 2022. - № 2 (117). - Pp. 25-29.
7. Semenova, K.S. Assessment of the condition of underground engineering structures of the reclamation system using humidity maps obtained from remote sensing data from the DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRA unmanned aerial vehicle / K.S. Semenova // Environmental management. - 2023. - No. 3. - pp. 31-37.

2.9 ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ВЕГЕТАЦИИ СОИ СЕВЕРНОГО ЭКОТИПА НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ ПРИ РАЗНЫХ ТИПАХ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ

Реализация генетического потенциала урожайности сои возможна лишь при условии соответствия агротехники биологическим особенностям культуры и климатическим ресурсам региона, прежде всего, тепло- и влагообеспеченности на разных этапах онтогенеза [1]. Метеорологические условия способны определять до 80 % изменчивости урожая [2-4]. В Центральном регионе Нечерноземья ведущим лимитирующим фактором для сои выступают тепловые ресурсы. Благодаря высокой экологической пластичности культуры, её продвижение в новые районы стало актуальным решением для увеличения производства растительного белка в стране. В связи с этим новой задачей аграрной науки и практики является совершенствование ресурсоэффективных технологий возделывания сортов сои северного экотипа, а также оценка влияния различных антропогенных, биотических и абиотических факторов на продуктивность, содержание белка и масла в условиях Центральной России [2, 5].

Предпосылки для создания сортов северного экотипа возникли в конце XX века, когда начались попытки внедрения сои в европейскую часть страны.

Основным препятствием тогда было отсутствие адаптированных сортов: в Нечерноземье сумма активных температур составляет около 2000 °С, тогда как существовавшим сортам требовалось не менее 2200 °С. Стало очевидно, что для расширения посевных площадей в европейской части, включая Нечерноземную зону, необходимы сорта, способные стабильно созревать при сумме активных температур 1700...1800 °С [6, 7].

В 1960-х годах под руководством академика Н. А. Майсурына были выведены сорта Тимирязевская 1 и Тимирязевская 144, районированные в Тамбовской области. В 1979 г. Г. С. Посыпанов сформулировал модель сорта северного экотипа, ключевыми характеристиками которой были: устойчивость к низким температурам, детерминантный габитус, слабоветвящийся куст, короткий вегетационный период, равномерное расположение непоникающих листьев, ультраскороспелость, способность к вызреванию при сумме активных температур не более 1800 °С, высота прикрепления нижнего боба не менее 15 см, устойчивость бобов к растрескиванию, количество семян в бобе – не менее 1,7...2,0, масса 1000 семян – до 150 г, содержание белка – не менее 38 %, масла – 15...18 %, индекс урожая – не менее 40 %, активный симбиотический потенциал около 20 тыс. ед., объём фиксированного азота за вегетацию – 120...150 кг/га [6-8].

Для выведения сортов северного экотипа была изучена мировая коллекция ультраскороспелых, очень скороспелых и скороспелых форм ВИР им. Н. И. Вавилова – всего около 600 образцов из 14 стран. Однако скороспелые образцы из коллекции в условиях Москвы и области показали низкую эффективность.

Поскольку гибридизация не позволила получить формы, более скороспелые, чем исходные родительские, был использован метод радиационного мутагенеза. В качестве исходного материала использовали сорта амурской и шведской селекции. Метод позволил получить широкий спектр радиомутантов, в том числе ультраскороспелых. Скрещивание этих ультраскороспелых, но малопродуктивных форм с менее скороспелыми, но более продуктивными биотипами дало начало первым ультраскороспелым сортам северного экотипа [6-8].

Полученный материал стал основой для создания современных ультраскороспелых сортов в период с 1993 по 2006 гг. Коллективом учёных (Г. С. Посыпанов, М. П. Гуреева, Т. А. Фомина, Е. И. Филянова, Т. П. Кобозева) выведены и районированы в Центральном Нечерноземье сорта сои северного экотипа зернового направления. Их потенциальная урожайность достигает 2,5...3,5 т/га, содержание белка – до 42 %, жира –

до 20 %. Сорты адаптированы к условиям длинного дня, отличаются повышенной симбиотической активностью, стабильно вызревают при сумме активных температур 1700...2000 °С за 90...120 дней, что открывает широкие возможности для их внедрения в хозяйства Центрального Нечерноземья. Эти сорта способны вызревать на 56-й параллели, где ранее соя не возделывалась.

Традиционная классификация сортов по группам спелости при продвижении культуры в более северные районы с существенным различием в фотопериодических условиях по сравнению с основными зонами возделывания становится малоинформативной. Выраженная фотопериодическая реакция сои потребовала иных подходов к систематизации. Г. С. Посыпанов [8] предложил деление биотипов на группы спелости не по продолжительности межфазного периода «всходы – полная спелость», а по сумме активных температур. При этом, следуя классификации Н. И. Корсакова [9], выделено девять групп спелости [8] (табл. 2.15, 2.16).

Таблица 2.15 – Классификации сортов сои по группам спелости

Группа спелости сорта	Продолжительность периода вегетации (всходы – полная спелость), дней (по Н. И. Корсакову)	Сумма активных температур за период вегетации (всходы – полная спелость), °С (по Г.С. Посыпанову)
Ультраскороспелые	80 и менее	1700 и менее
Очень скороспелые	81...90	1701...1900
Скороспелые	91...110	1901...2200
Среднескороспелые	111...120	2201...2300
Среднеспелые	121...130	2301...2400
Среднепозднеспелые	131...150	2401...2600
Позднеспелые	151...160	2601...3000
Очень позднеспелые	161...170	3001...3500
Исключительно позднеспелые	более 170	более 3500

Таблица 2.16 – Классификация сортов сои по группам спелости, принятая в странах Северной Америки и Западной Европы

Группа спелости	Сумма активных температур выше 10°С за период от всходов до созревания
000	1700...2000
00	2000...2400
0	2400...2600
I	2600...2800
II	2800...3000

В современных условиях изменения климата особое значение приобретает изучение влияния агротехнических приёмов на адаптацию растений к гидротермическим условиям. Как отмечалось ранее, в Нечерноземной зоне основным ограничивающим фактором для ведения сельскохозяйственного производства, в частности растениеводства и кормопроизводства, являются тепловые ресурсы. В регионе преобладают сельскохозяйственные культуры умеренного пояса, которые требуют для нормального роста и развития температуры в диапазоне 18...22 °С. Однако в последние десятилетия наблюдается увеличение суммы активных температур, которую растения имеют возможность накапливать за вегетацию в данных условиях, что создало условия для успешного продвижения сои в новые районы соеосеяния [3]. Современные сорта сои северного экотипа способны успешно вызревать при сумме активных температур от 1700 °С, однако этот порог касается низкорослых и существенно уступающих в урожайности детерминантных сортов. Более урожайные полудетерминантные и индетерминантные сорта сои северного экотипа, по нашим наблюдениям, требуют большей суммы активных температур, приближающейся к 2000 °С. При этом их созревание может быть затянуто из-за неблагоприятных погодных условий и применяемых агротехнических приёмов [2, 3].

В связи с этим целью нашей работы явилось изучение влияния типа питания на продолжительность вегетации сои с разным типом роста (детерминантным, полудетерминантным и индетерминантным).

Исследования проводилось на опытном поле РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева. Почва опытного участка дерново-подзолистая, среднесуглинистая по гранулометрическому составу, малообеспечена азотом; обеспеченность фосфором и калием высокая, $pH_{KCl} - 6,1$.

В опыте изучались сорта сои северного экотипа с разным типом роста в зависимости от типа питания (симбиотрофный, автотрофный, минеральный).

Фактор А: сорта сои северного экотипа (10 сортов) – для анализа адаптивного потенциала сортов сои северного экотипа при минеральном и симбиотрофном типах питания. Изучаемые сорта по типу роста объединены в три группы: детерминантные (Памяти Фадеева, Светлая, Касатка, Припять), полудетерминантные (Славянка, Магева, Командор, Билявка) и индетерминантные (Эн Аурум, Эн Аренс).

Фактор В: типы азотного питания растений сои:

- а) минеральное (расчётные дозы N под запланированную урожайность зерна сои 2,5 т/га);
- б) симбиотрофное питание (проведение инокуляции семян перед посевом активным штаммом бактерий *Bradyrhizobium japonicum*);
- в) контроль – без обработок.

Закладка полевого опыта – по методике Б. А. Доспехова, деланки разбиты методом систематических повторений в четырёхкратной повторности, площадь учётных деланок 50 м² [10]. Фенологические наблюдения и расчёты – по Г. С. Посыпанову, В. Т. Синеговской [11].

В результате проведённых исследований установлено, что продолжительность периода вегетации сои в метеорологических условиях 2025 г. варьировала от 97 до 131 дня. Сумма активных температур составила 1803,6...2068,5 °С, а наибольшие значения отмечены при минеральном питании и индетерминантном типе роста (табл. 2.17).

Таблица 2.17 – Гидротермические условия вегетации сои в зависимости от типа питания и типа роста растений

Тип питания	Межфазный период	Тип роста	Дата посева – полная спелость	Σ акт. темп., °С	Σ осадков, мм	ГТК
Автотрофный	всходы – полная спелость	детерминантный	28.05 – 06.09	1803,6	270,2	1,50
		полудетерминантный	28.05 – 08.09	1838,6	270,2	1,47
		индетерминантный	28.05 – 21.09	2032,3	271,6	1,34
Симбиотрофный	всходы – полная спелость	детерминантный	28.05 – 10.09	1870,5	270,2	1,44
		полудетерминантный	28.05 – 14.09	1925,7	270,2	1,40
		индетерминантный	28.05 – 24.09	2068,5	273,6	1,32
Минеральный	всходы – полная спелость	детерминантный	28.05 – 14.09	1925,7	270,2	1,40
		полудетерминантный	28.05 – 21.09	2032,3	271,6	1,34
		индетерминантный	28.05 – 28.09	2068,5	278,6	1,35

Установлено, что сумма активных температур закономерно возрастает во всех вариантах питания с переходом от детерминантных сортов к полудетерминантным и далее к индетерминантным (автотрофный фон: 1803,6...2032,3 °С; симбиотрофный фон: 1870,5...2068,5 °С; минеральный фон: 1925,7...2068,5 °С), что также коррелирует с продолжительностью периода вегетации сои: детерминантные сорта завершают вегетацию в первой

декаде сентября, полудетерминантные – во второй, индетерминантные – в третьей (до 28.09).

Хотя абсолютная сумма осадков несколько возрастает (например, у индетерминантных сортов 271...279 мм против 270...271 мм у детерминантных), снижение ГТК указывает на относительное уменьшение влагообеспеченности более длительного вегетационного периода.

Наиболее короткий период вегетации наблюдался при автотрофном питании: для детерминантного типа роста – 97 дней (табл. 2.18). Минеральное питание увеличивало продолжительность вегетации до 105...119 дней, что связано с более интенсивным ростом и развитием растений при усиленном питании. Индетерминантные сорта сои (Эн Аурум и Эн Аренс) характеризовались наибольшей продолжительностью вегетации; максимальная продолжительность (131 день) данных сортов отмечается при минеральном питании. Детерминантные формы созревали на 22...30 дней раньше.

Таблица 2.18 – Влияние типа питания на продолжительность вегетации

Тип питания	Тип роста	Продолжительность вегетации, дни
Автотрофный (контроль)	Детерминантный	97
Автотрофный (контроль)	Полудетерминантный	101
Автотрофный (контроль)	Индетерминантный	116
Симбиотрофный	Детерминантный	103
Симбиотрофный	Полудетерминантный	104
Симбиотрофный	Индетерминантный	119
Минеральный	Детерминантный	105
Минеральный	Полудетерминантный	109
Минеральный	Индетерминантный	131

Результаты дисперсионного анализа подтверждают значительное влияние изучаемых факторов на продолжительность периода вегетации сои северного экотипа (табл. 2.19). Установлено, что наибольшее влияние оказывает генетический фактор (тип роста растений), однако тип питания растений также статистически значим и его необходимо учитывать для оптимизации технологии возделывания сои в Нечерноземье.

В проведённых исследованиях установлено, что наибольшее влияние на продолжительность вегетации оказывает генетически обусловленный тип роста сои. Индетерминантные сорта созревают в среднем на 20 дней позже детерминантных, что необходимо учитывать при подборе сортимента для регионов с ограниченным безморозным периодом.

Таблица 2.19 – Степень влияния отдельных факторов на продолжительность периода вегетации сои

Фактор	Сумма квадратов (SS)	df	Средний квадрат (MS)	F-критерий	p-значение	Доля влияния (η^2), %	Интерпретация влияния
Тип роста (A)	735,6	2	367,8	61,3	<0,001	72,2	Очень высокое
Тип питания (B)	13,6	2	6,8	1,13	0,342	1,3	Не значимо
Взаимодействие (A × B)	161,1	4	40,3	6,72	<0,01	15,8	Высокое
Ошибка	108,0	18	6,0	–	–	10,6	–
Общая	1018,3	26	–	–	–	100	–

В то же время тип питания (автотрофный, симбиотрофный, минеральный) не является самостоятельным значимым фактором. Однако в результате проведённых исследований можно заключить, что его взаимодействие с типом роста существенно. Так, например, отмечено, что у детерминантных сортов минеральное питание заметно удлиняет период вегетации (на 8...9 дней по сравнению с симбиотрофным), тогда как у индетерминантных этот период увеличивается на 15 дней при применении азотных подкормок.

Проведение инокуляции в большинстве случаев даёт промежуточные значения продолжительности и может рассматриваться как экологически безопасный приём без риска чрезмерного затягивания вегетации и существенной экономии дорогостоящих азотных удобрений.

На основании проведённых исследований 2025 г. и учитывая результаты опытов предыдущих лет, можно заключить, что для разработки адаптивной технологии выращивания сои северного экотипа в условиях Центральной части Нечерноземной зоны необходимо учитывать сумму активных температур, количество осадков, тип роста растений и тип питания.

Таким образом, можно заключить, что для успешного возделывания сои северного экотипа на дерново-подзолистых почвах Центрального Нечерноземья необходимо при составлении адаптивной технологии учитывать тип роста растений и его реакцию на тип азотного питания. Так, при использовании детерминантных и полудетерминантных сортов следует применять симбиотрофное или сбалансированное минеральное питание, избегая избыточных доз минерального азота, чтобы не затягивать созревание; для индетерминантных сортов, при их выращивании на зерновые цели, предпочтительны симбиотрофный или автотрофный фон, так как минеральное

азотное питание может привести к недозреванию при раннем наступлении холодов или в дождливую погоду.

Учитывая, что все изучаемые варианты характеризуются ГТК выше 1,3, условия увлажнения в 2025 г. характеризовались как достаточные, однако при выборе технологии следует ориентироваться на сумму активных температур, доступную в конкретном районе, и подбирать сорт с соответствующим типом роста и типом питания, чтобы минимизировать риск недобора урожая из-за теплового стресса или позднего созревания.

Выводы

1. Тип роста растений сои является главным фактором, определяющим продолжительность вегетации в условиях Нечерноземья. Установлено, что у индетерминантных сортов по сравнению с детерминантными сумма активных температур выше на 160...260 °С, период вегетации удлиняется на 2...3 недели, а ГТК снижается на 0,10...0,18, что свидетельствует о меньшей влагообеспеченности поздних этапов развития и затянутом периоде созревания.

2. Тип питания оказывает существенное влияние в пределах каждой группы роста, особенно заметное у детерминантных и полудетерминантных сортов. Минеральное питание увеличивает потребность в тепле и затягивает созревание по сравнению с автотрофным и симбиотрофным фоном. Симбиотрофное питание занимает промежуточное положение, обеспечивая более раннее созревание, чем минеральное, при сравнимых суммах осадков.

3. Наиболее благоприятные гидротермические условия для гарантированного созревания в Нечерноземье складываются у детерминантных сортов при автотрофном и симбиотрофном питании (ГТК 1,44...1,50, созревание до 10–14 сентября). Использование индетерминантных сортов, особенно на минеральном фоне, сопряжено с риском недобора урожая даже при использовании десикантов.

Список использованных источников

1. Vymyslický, T., Trněný, O., Rietman, H., Balko, C., Đorđević, V., Randelović, P., Dybová, M., 2025. Phenotypic characterization of soybean genetic resources at multiple locations: breeding implications for enhancing environmental resilience, yield and protein content. *Frontiers in Plant Science* 16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1422162>.
2. Бельшкіна М.Е., Кобозева Т.П., Загоруйко М.Г., Ананьева Т.В., Попова Н.П. Влияние условий влагообеспеченности на урожайность и кормовую ценность зерна сои при симбиотрофном и автотрофном типах питания азотом // *Природообустройство*. 2023. № 2. С. 43–51.
3. Технологии и технические средства в соеводстве Нечерноземья / В. А. Шевченко, А. С. Дорохов, М. Е. Бельшкіна [и др.]. – Москва: Федеральное государственное бюджетное

научное учреждение «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», 2024. – 140 с. – ISBN 978-5-907464-98-8. – DOI 10.37738/VNIIGIM.2024.43.78.001.

4. Попова Н.П., Бельшклина М.Е. Особенности белкового комплекса семян сои северного экотипа // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 1. – С. 104–105.

5. Гатаулина Г.Г., Заренкова Н.В., Никитина С.С. Сорта сои северного экотипа: как погода влияет на рост, развитие, формирование урожая и его вариабельность // Кормопроизводство. – 2019. – № 7. – С. 34–40.

6. Кобозева Т.П. Создание сортов северного экотипа и интродукция ее в Нечерноземную зону России. – М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2007. – 108 с.

7. Мухин В.П., Посыпанов Г.С., Кошкин Е.И., Кобозева Т.П. Получение радиомутантов сои для селекционного процесса. – М.: ВНИИЦ. – 1983. – 22 с.

8. Посыпанов Г.С. Соя в Подмосковье. – М.: МСХА им. К.А. Тимирязева, 2007. – 200 с.

9. Корсаков Н.И. Соя: (Система и основы селекции): Автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. (06.01.09) / Ленинград: Всесоюз. науч.-исслед. ин-т растениеводства им. Н. И. Вавилова. – 1973. – 44 с.

10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

11. Синеговская В.Т., Наумченко Е.Т., Кобозева Т.П. Методы исследований в полевых опытах с соей. – Благовещенск: ФГБНУ Всероссийский НИИ сои, 2016. – 116 с.

References

1. Vymyslický, T., Trněný, O., Rietman, H., Balko, C., Đorđević, V., Randelović, P., Dybová, M., 2025. Phenotypic characterization of soybean genetic resources at multiple locations: breeding implications for enhancing environmental resilience, yield and protein content. *Frontiers in Plant Science* 16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1422162>

2. Belyshkina M.E., Kobozeva T.P., Zagoruiko M.G., Ananyeva T.V., Popova N.P. The influence of moisture availability conditions on the yield and feed value of soybean grain with symbiotrophic and autotrophic types of nitrogen nutrition. 2023. No. 2. pp. 43-51.

3. Technologies and technical means in soybean production in the Non-Chernozem region / V.A. Shevchenko, A. S. Dorokhov, M. E. Belyshkina [et al.]. – Moscow: Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov", 2024. – 140 p. - ISBN 978-5-907464-98-8. – DOI 10.37738/VNIIGIM.2024.43.78.001.

4. Popova N.P., Belyshkina M.E. Features of the protein complex of soybean seeds of the northern ecotype // *Proceedings of the Timiryazevskaya Agricultural Academy*, 2018, No. 1, - pp. 104-105.

5. Gataulina G.G., Zarenkova N.V., Nikitina S.S. Soybean varieties of the northern ecotype: how the weather affects growth, development, crop formation and its variability // *Feed production*. – 2019. – No. 7. – pp. 34-40.

6. Kobozeva T.P. Creation of varieties of the northern ecotype and its introduction to the Non-Chernozem zone of Russia. Moscow: FGOU VPO MGAU, 2007. - 108 p.

7. Mukhin V.P., Posypanov G.S., Koshkin E.I., Kobozeva T.P. Obtaining soybean radiomutants for the breeding process. Moscow: VNTICE. – 1983. – 22 p.

8. Posypanov G.S. Soybeans in the Moscow region. Moscow: Timiryazev Moscow Agricultural Academy, 2007. - 200 p.
9. Korsakov N.I. Soy: (System and fundamentals of breeding): Abstract of the dissertation. for the degree of Candidate of Agricultural Sciences. (06.01.09) / Leningrad: Vsesoyuz. scientific research. N. I. Vavilov Institute of Plant Breeding. - 1973. – 44 p.
10. Dospekhov B.A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). – 5th ed., additional and revised – M.: Agropromizdat, 1985. – 351 p.
11. Sinegovskaya V.T., Naumchenko E.T., Kobozeva T.P. Research methods in field experiments with soybeans. Blagoveshchensk: All-Russian Research Institute of Soy, 2016. - 116 p.

2.10 СТРАТЕГИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Глобальное изменение климата, в результате которого ожидается дальнейшее иссушение территорий, заставляет с особым вниманием обращаться к проблемам аридных территорий России. Экологическое состояние аридных (засушливых) регионов является одной из наиболее острых проблем, которая требует постоянного контроля. Создание экологически устойчивой структуры аридных агроландшафтов является в настоящее время первоочередным вопросом в решении проблем смягчения засух, уменьшения эрозии почв, оптимизации продуктивности сельскохозяйственных угодий и улучшения окружающей среды. Нерешенной до сих пор является задача по конструированию адаптивных и устойчивых агроландшафтов, сформулированная еще В.В. Докучаевым, т.е. «...выработка норм, определяющих оптимальные соотношения между пашней, лесом, лугом и водами» [5].

Опустыниванием земель затронуты в разной степени 17 субъектов Российской Федерации. «Интенсивное проявление процессов опустынивания земель отмечается на территории Республики Калмыкия, Республики Дагестан, Астраханской, Волгоградской, Ростовской областей (Сальские степи), где опустыниванием охвачено более 50% территории, Алтайского края (Кулундинские степи) – около 37%, Республики Тува (равнинные территории) – 15%. Процессам опустынивания подвержены также территории Краснодарского и Ставропольского краев. К числу потенциально опасных для опустынивания территорий принадлежат земли, расположенные в южной части степной зоны Воронежской, Саратовской, Оренбургской, Омской, Челябинской, Читинской областей, а также Республики Хакасия и Республики Бурятия» [3]. Общая площадь опустыненных территорий России составляет более 60 млн. га. Все опустыненные земли России можно подразделить по степени опустынивания на две большие группы: территории

сильно опустыненные; территории умеренно и слабоопустыненные. Каждая из этих групп отличается определенной спецификой в развитии процессов опустынивания и требует особого подхода к стратегии и тактике управления опустыненными землями и их мониторинга [8].

Цель исследования состояла в теоретическом и практическом обосновании биогеоценотических принципов и методов биологической мелиорации деградированных земель аридной зоны для создания устойчивых, высокопродуктивных и самоподдерживающихся агроэкосистем, способствующих восстановлению средообразующих функций растительности.

В соответствии с поставленной целью, были решены следующие задачи: обоснованы биогеоценотические принципы биологической мелиорации применительно к деградированным землям аридной зоны России, базирующиеся на концепции типов адаптивных стратегий растений, принципах дифференциации экологических ниш и соответствии эколого-ценотических конструкций зональным типам природных биогеоценозов; разработаны технологии создания поливидовых пастбищных агроэкосистем с использованием доминантных видов аборигенной флоры в различных почвенно-климатических условиях аридной зоны (сухостепная, полупустынная и пустынная зоны).

В исследовании были использованы доминантные виды растений семейств: маревые (Chenopodiaceae), тамариковые (Tamaricaceae), бобовые (Fabaceae), астровые (Asteraceae), злаковые (Poaceae).

Все работы по сбору, обработке и анализу материалов выполнялись в соответствии с утвержденными методическими указаниями [10], что обеспечивает научную достоверность полученных результатов.

Математическая обработка данных проведена с использованием программного обеспечения Statistica 10.0.

Биогеоценотические принципы биологической мелиорации

Для экологически обоснованного и экономически выгодного восстановления продуктивности аридных пастбищ необходимо обобщить современные достижения восстановительной экологии и экспериментальной фитоценологии и на этой основе выработать новые подходы к биогеоценотически обоснованной разработке технологии формирования аридных пастбищных экосистем.

В этой связи, разработка биогеоценотических принципов ускоренного восстановления утраченного биоразнообразия и биологической продуктивности деградированных пастбищных экосистем реализована

на основе синтеза современных представлений о восстановительной сукцессии и экспериментальной фитоценологии.

Основными источниками формирования этих представлений послужили следующие идеи: концепция типов адаптивных стратегий растений [14, 22], принцип соответствия эколого-ценотических конструкций восстанавливаемых аридных экосистем зональным типам естественных биогеоценотических структур [6], принцип дифференциации экологических ниш и взаимной дополняемости видов в биоценозах [12, 22] для обоснования эффективных методов.

Структурная организация и особенности функционирования биогеоценозов подчиняются зональным закономерностям. Зональный тип биогеоценоза представляет собой группу близких вариантов элементарных экосистем, объединенных единой схемой структурной организации, сходным средним уровнем биопродукционного процесса и совпадением или близким ритмом функциональных связей главных компонентов биоконтекста [6].

По В.С. Залетаеву [6], зональный тип биогеоценоза обладает эмерджентным свойством природной элементарной экологической системы, способной проявляться в той же типовой схеме в различных районах природной зоны и в сходных по генезису и набору ландшафтов на разных континентах Земли, хотя в этих случаях схема зонального типа биогеоценоза может осуществляться иным набором организмов, иногда таксономически весьма далекими.

Деструктивная функция живого вещества – важный аспект его деятельности в биосфере. Биосфера не только «фабрика макромолекул», как назвал ее Н.В. Тимофеев-Ресовский, она гигантская мельница [15].

Сущность средообразующей функции растительности состоит в изменениях геофизического и геохимического режимов биогеоценозов, агросферы и биосферы в целом и вызываемых этими изменениями перестройках всех остальных компонентов биогеоценоза [23].

Средообразующая функция растительности неразрывно связана с другой, фундаментальной функцией растительности – продукционной.

Современные практика и технология систем восстановления и улучшения аридных пастбищ имеют довольно прочную теоретическую основу. Важнейшие ее составные части выработаны на основе широкого использования фундаментальных положений экологии и биогеоценологии – концепции экологических ниш, взаимной дополняемости видов в сообществах, полночленности и экологической емкости биоценозов, типов адаптивной стратегии растений [17, 18].

Для обоснования возможности восстановления и повышения продуктивности аридных пастбищ большое значение имеет учет флористической и ценотической полнотности естественных биоценозов.

Современные типы аридных пастбищ, как правило, вторичные образования с нарушенной структурно-функциональной организацией, потерявшие первичное видовое, экотопически-популяционное разнообразие растительных организмов, вследствие этого в той или иной степени утратившие свой продукционный потенциал. Это положение применительно к задачам биологической мелиорации пастбищ экспериментально обосновано в ряде наших работ [20, 21].

Для решения этих задач мы опираемся на фундаментальные положения биогеоценологии и экологии – принципы флористической и ценотической неполнотности современных пастбищных биоценозов, принципы соответствия эколого-ценотической конструкции создаваемых пастбищных экосистем зональным типам биогеоценотических структур, адаптивной стратегии растений и принцип дифференциации экологических ниш на основе взаимодополняемости различных видов, экотипов, сортов растений в процессе формирования узловых пастбищных фитоценозов [19, 24].

Биогеоценотический метод выбора растительных объектов для биологической мелиорации

В теоретической экологии важное место занимают вопросы восстановительной сукцессии. В процессе восстановительной сукцессии развитие любой экосистемы заканчивается формированием стабильной климаксовой экосистемы, адаптированной к местному диапазону факторов среды [14]. Жизненные формы и доминантные виды растений, участвующие в формировании климаксовых сообществ, характеризуются повышенной устойчивостью к абиотическим и биотическим стрессам. В контексте этих представлений о климаксе становится понятным необходимость использования доминантных видов растений климаксовых сообществ в качестве основных растительных объектов для восстановления утраченного биоразнообразия и кормовой производительности деградированных пастбищных земель в аридных районах России.

При выборе растительных объектов – соответствующих жизненных форм и доминантных видов кормовых растений, мы опирались на следующие эколого-ценотические принципы:

- Принцип типов адаптивной стратегии растений (С, S, R-виды) и фитоценотически сбалансированные их сочетания в процессе

восстановления самоподдерживающихся пастбищных экосистем [9-11, 13, 14];

- Принцип дифференциации экологических ниш и эколого-ценотической взаимодополняемости видов в формирующихся пастбищных экосистемах [11, 13, 14, 21, 22].

- Принцип соответствия эколого-ценотической конструкции восстанавливаемых экосистем зональным типам природных биогеоценотических структур.

Биогеоценоз является элементарной самовоспроизводящейся экологической системой биосферы, в которой протекают основные процессы трансформации вещества и энергии, замыкаются узлы экологических связей и совершаются основные акты биопродукционного процесса [23]. Основным носителем зонального типа биогеоценотической структуры, согласно Г.М. Зозулину [7], является жизненная форма растений.

Доминантные виды растений, используемые для биологической мелиорации:

- Маревые (Chenopodiaceae): саксаул чёрный (*Haloxylon aphyllum*), солянка восточная (*Salsola orientalis*), галотамнус малолистный (*Halothamnus subaphyllum*), терескен серый (*Eurotia ceratoides*), кохия простёртая (*Kochia prostrata*), кохия веничная (*Kochia Scoparia*), камфоросма Лессинга (*Camphorosma lessingii*), климакоптера шерстистая мясистая (*Climacoptera lanata*), сведа дуголистная (*Suaeda arcuata*), сведа высокая (*Suaeda altissima*).

- Тамариковые (Tamaricaceae): джузгун древовидный (*Calligonum arborescens*), джузгун безлистный (*Calligonum aphyllum*).

- Бобовые (Fabaceae): солодка голая (*Glycyrrhiza glabra*), солодка уральская (*Glycyrrhiza uralensis*).

- Астровые (Asteraceae): полынь Лерха (*Artemisia lercheana*), полынь солелюбивая (*Artemisia halophila*).

- Злаки (Poaceae): житняк пустынный (*Agropyron desertorum*), пырей удлинённый (*Elytrigia elongata*), мятлик луковичный (*Poa bulbosa*).

Биологическая мелиорация деградированных пастбищных земель в сухостепной зоне

В сухостепной зоне созданы одновидовые прутняковые пастбища и смеси полукустарничков: прутняк простёртый – 30% + камфоросма Лессинга – 25% + терескен серый – 20% + многолетние травы (житняк гребневидный и пырей солонцовый) – 25%.

Установлено, что продуктивность прутняковых пастбищ в условиях сухой степи достаточно высока: кормовая продуктивность из года в год до 11-летнего возраста увеличивается от 5,6 до 28,2 ц/га сухой кормовой массы (рис. 2.13).



Рисунок 2.13 - Прутняковые пастбища в сухостепной зоне.
Кормовая продуктивность 21-26 ц/га сухой кормовой массы
в фазе цветения, август, 2005 г.

Для создания многовидовых долголетних пастбищных агроэкосистем использовались следующие виды кормовых полукустарников, полукустарничков и многолетних трав: прутняк простертый – 30% + терескен серый – 20% + камфоросма Лессинга – 25% + многолетние травы (пырей солончаковый, житняк узколистый, черноголовник) – 25%.

В первый год жизни кормовые полукустарнички получили хорошее развитие: в сентябре высота растений прутняка простертого достигла 65...75 см высоты, терескена серого 70...85, камфоросмы Лессинга – 35...40 см. После прохождения фазы бутонизации и цветения в июне–июле, фаза плодоношения наступает в середине сентября–начале октября.

Пастбищные агрофитоценозы, включающие различные виды кормовых полукустарников, полукустарничков и многолетних трав, как показали исследования, выполненные в сухой степной зоне, свидетельствуют о том, что такие полукустарничково-травяные агроэкосистемы накапливают в 2...3 раза больше кормовой массы, чем естественные пастбища, и отличаются разнообразием подножного корма.

Кормовая продуктивность полукустарничково-травянистых агроэкосистем, созданных на деградированных сухостепных пастбищах, характеризуется следующими показателями (рис. 2.14).

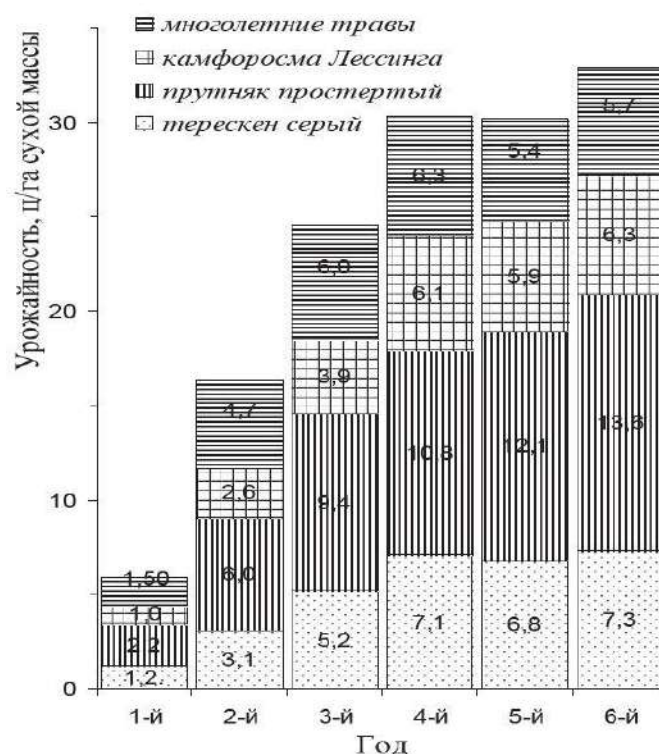


Рисунок 2.14 - Продуктивность пастбищных агроэкосистем, созданных путем посева смеси галофитных полукустарников, полукустарничков и трав в сухостепной зоне Нижнего Поволжья

Полученные данные показывают, что в течение 6 лет наблюдается увеличение продуктивности прутняково-терескеново-камфоросмовых пастбищных агроэкосистем. Максимальная урожайность данной пастбищной экосистемы формируется на 5...6 год жизни. Довольно резкое увеличение кормовой массы происходит со второго года жизни, когда эти пастбища можно рекомендовать к использованию. В структуре кормовой массы полукустарничково-травянистой пастбищной агроэкосистемы наблюдаются неравномерное распределение урожая между видами растений. При этом наибольший урожай приходится на долю прутняка простертого. Если общая урожайность пастбищной агроэкосистемы за 6 лет составила 32,9 ц/га сухой кормовой массы, то из них более 40% (13,6 ц/га) приходится на долю популяции прутняка простертого. Далее по урожайности в составе рассматриваемого пастбищного агрофитоценоза выделяются популяции терескена серого, затем популяции камфоросмы Лессинга.

Одна из характерных особенностей прутняково-терескеново-камфоросмовых пастбищ – это взаимодополняемость накопления кормовой массы видов пастбищных растений по сезонам пастбищного периода. Наиболее интенсивное накопление кормовой массы у прутняка простертого

происходит до конца июля, камфоросмы Лессинга – до середины августа, терескена серого – до середины сентября.

Присутствие в составе полукустарничково-травянистых пастбищных агроэкосистем прутняка простертого, накапливающего основную массу запаса кормов в летне-осенний период в сочетании с терескеном серым и житняком гребневидным делают пастбищную агроэкосистему превосходным для выпаса овец в весенне-летний период. В свою очередь, присутствие камфоросмы Лессинга в составе полукустарничково-травянистой агроэкосистемы служит хорошим кормом для использования осенью и зимой.

Биологическая мелиорация сильно деградированных пастбищных земель в полупустынной зоне Северо-Западного Прикаспия

Природный пастбищный потенциал полупустынной зоны Республики Калмыкия в плане сельскохозяйственного использования наиболее полно отвечает требованиям рационального ведения овцеводства, мясного скотоводства, верблюдоводства, табунного коневодства.

На сильно деградированных пастбищах в составе естественных фитоценозов преобладают эфемероиды, представленные в основном мятликом, при незначительном участии полыни. Такие деградированные пастбища нуждаются в коренном улучшении. В связи с этим и были проведены исследования по разработке технологии формирования зонально типичных для полупустыни Калмыкии флористически полночленных полукустарничково-травяных пастбищных агроэкосистем на основе прутняка простертого, камфоросмы Лессинга, терескена серого, полыни белой, полыни черной.

Для изучения были созданы следующие пастбищные агрофитоценозы:

Прутяково-бело-чернополынные пастбищные агрофитоценозы с участием: прутняк простертый – 50 + полынь белая – 37 + полынь черная – 13%;

Камфоросмово-бело-чернополынный пастбищный агрофитоценоз с участием кормовых полукустарничков: камфоросма Лессинга – 88 + полынь белая – 9 + полынь черная – 3%;

Терескеново-полынный агрофитоценоз с участием: полынь белая – 47 + полынь черная – 31 + терескен серый – 22%.

В среднем за 8 лет самой высокой урожайностью характеризовался агрофитоценоз с преобладанием прутняка простертого (22,8 ц/га сухой массы) (рис. 2.15).

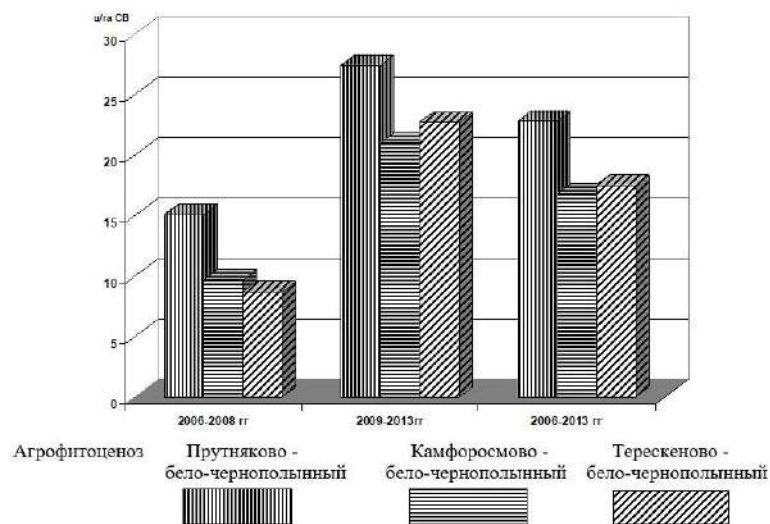


Рисунок 2.15 - Урожайность различных типов пастбищных агроэкосистем (ц/га СВ)

Урожайность прутняково-полынного сообщества с эфемерами возрастала до 26,9 ц/га на 5-й год жизни и до 29,0 – на 7-й. В составе этого сообщества полукустарничек кохия простертая на 5–7-й годы жизни формировал 20,5...21,3 ц/га сухой кормовой массы, камфоросма Лессинга – 12,0...16,3 ц/га, полынь белая и полынь черная – 2,8...5,5 ц/га.

Из числа изучаемых полукустарничков самую высокую урожайность формировали прутняковые популяции на 5-ом и 7-ом году жизни (26,8...29,0 ц/га) и камфоросма Лессинга (18,6...26,3 ц/га сухой кормовой массы).

Во всех агроэкосистемах незначительную долю в урожае составляли эфемеры (1,0...1,4 ц/га сухого вещества).

От первого к восьмому году урожайность всех агроэкосистем значительно повышалась: прутнякового с 12,5 до 23,6 ц/га, камфоросмового – с 4,7 до 18,8 и терескенового – с 3,1 до 17,5 ц/га сухой массы. В большей степени увеличивалась урожайность камфоросмы (почти в 6 раз), полыни черной (в 10 раз), терескена (в 29 раз).

Урожайность прутняково-полынного агрофитоценоза характеризовалась самым высоким уровнем, как в первые три года – 1200 корм. ед., так и на 4–8-ой годы – 2238 корм. ед.

Таким образом, для создания долголетних пастбищ наиболее пригодным оказался агрофитоценоз из прутняка простертого, полыни белой и полыни черной, который уже в первом году сформировал высокую урожайность (12,5 ц/га сухой массы) и в последующие годы она непрерывно росла.

Качество пастбищного корма в значительной мере зависит от ботанического состава агроэкосистем. Согласно Ю.П. Бяловичу [1],

сущность преобразовательной функции заключается в закономерных изменениях растительностью геофизического и биохимического режимов биогеоценозов, биогеосферы и биосферы в целом, а также в вызываемых этими изменениями перестройках всех остальных компонентов биогеоценоза.

Биологическая мелиорация поливидовых пастбищ

Для формирования поливидовых пастбищ круглогодичного использования применяются следующие доминантные виды кормовых растений: кустарник саксаул чёрный, ксерогалофильный полукустарник солянка малолистная, полукустарнички – кохия простёртая, солянка восточная, полынь раскидистая развесистая в соответствующих пропорциях. Посев производится в конце ноября. Структура пастбища круглогодичного использования состоит из 5 синузид, взаимодополняющих друг друга по эколого-биологическим характеристикам и занимаемым экологическим нишам.

Воссозданные пастбища круглогодичного использования, имеющие в своём составе виды кормовых растений различных жизненных форм, характеризуются высокой и устойчивой кормовой производительностью по годам и сезонам. Уже на втором 2-м году процесса реставрации она в 2 раза превышает продуктивность природных пастбищ. Максимальной производительности пастбища круглогодичного использования достигают на 3...5 годах жизни (3,45...4,39 т/га сухой кормовой массы).

В формировании общей кормовой продукции поливидового пастбища значительна роль полукустарничков – кохии простёртой и солянки восточной: первые 2...4 года они способны быстро формировать кормовую массу. А вот у саксаула чёрного созревание происходит значительно медленнее, и на его долю приходится $\frac{1}{3}$ часть общей кормовой продукции. Присутствие разносезонных поедаемых полукустарничков в сочетании с кустарником саксаулом чёрным и эфемероидами позволяет использовать поливидовые пастбища на протяжении всего года.

Выводы. Проведенные исследования и многолетний экспериментальный опыт, обобщенные в данной работе, позволяют заключить, что наиболее эффективным и экологически обоснованным подходом к восстановлению деградированных земель аридной зоны России является использование биогеоценологических принципов биологической мелиорации. В основе этого подхода лежит создание искусственных агроэкосистем, выступающих в качестве аналогов зонально-типичных природных биогеоценозов (климаксовых сообществ). Это предполагает отказ

от монокультур в пользу формирования флористически полночленных и ценотически сбалансированных поливидовых сообществ.

Теоретически и практически обоснована стратегия, базирующаяся на: учете адаптивных типов стратегий растений (C-S-R), что позволяет создавать устойчивые к стрессам фитоценозы; принципе дифференциации экологических ниш, обеспечивающем взаимодополняемость видов и максимальное использование ресурсов среды; принципе соответствия создаваемых структур зональным типам природных биогеоценозов, что гарантирует долговременную устойчивость и самоподдерживаемость мелиорированных земель.

Разработанные и апробированные в различных почвенно-климатических условиях (сухостепная зона, полупустыня Северо-Западного Прикаспия, пустынная зона) технологические решения доказали свою высокую эффективность. Показано, что использование доминантных видов аборигенной флоры (таких как *Kochia prostrata*, *Camphorosma lessingii*, *Eurotia ceratoides*, *Haloxylon aphyllum* и др.) в различных комбинациях позволяет: в 2...3 раза повысить кормовую продуктивность деградированных пастбищ по сравнению с естественными угодьями; создать долголетние (до 10...12 лет и более) агроэкосистемы с высокой устойчивостью урожаев по годам; обеспечить конвейерное поступление кормов за счет подбора видов с разными сезонными ритмами развития (взаимодополняемость); восстановить средообразующие функции растительности (ветрозащита, снегонакопление, улучшение гидротермического режима), что особенно важно в условиях глобального изменения климата и усиления аридизации.

Таким образом, представленные стратегии биологической мелиорации, основанные на синтезе фундаментальных положений экологии, биогеоценологии и фитоценологии, являются эффективным инструментом управления деградированными ландшафтами. Они направлены не просто на увеличение кормовой продуктивности, но и на восстановление утраченного биоразнообразия, стабилизацию экологической обстановки и обеспечение устойчивого функционирования аридных агроландшафтов в долгосрочной перспективе.

Список использованных источников

1. Бяллович, Ю.П. О некоторых биогеоценотических основах общей теории фитомелиорации / Ю.П. Бяллович // Теоретические проблемы фитоценологии и биогеоценологии. – М.: Наука, 1970. – С. 5–16.
2. Вернадский, В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения/ В.И. Вернадский. - М.: Наука, 1965. – 374 с.

3. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации за 1994 г. - М., 1995. – 135 с.
4. Дзыбов, Д.С. К созданию "портретных моделей естественных биогеоценозов – агро степей" / Д.С. Дзыбов // Антропогенные процессы в растительности. - Уфа: БФАН СССР, 1985. - С. 126-134.
5. Докучаев В.В. Наши степи прежде и теперь / В.В. Докучаев. – М.: Сельхозгиз, 1953. – 152 с.
6. Залетаев В.С. Жизнь в пустыне (географо-биогеоценозические и экологические проблемы) / В.С. Залетаев. – Москва: Мысль, 1976 – 271 с.
7. Зозулин, Г.М. Научные и практические аспекты использования ландшафтов как эталонов природы / Г.М. Зозулин // Человек и биосфера. - Ростов: Изд-во Ростовского университета, 1977. - 336 с.
8. Зонн, И.С. Земельные ресурсы аридных территорий России / И.С. Зонн, И.А. Трофимов, Н.З. Шамсутдинов, З.Ш. Шамсутдинов // Аридные экосистемы. - 2004. - Т. 10. № 22–23. - С. 87–102.
9. Керженцев, А.С. Функциональная экология / А.С. Керженцев; [отв. ред. Э.Г. Коломыц]; Ин-т фундамент. проблем биологии РАН. – М.: Наука, 2006. – 259 с. - ISBN 5-02-034277-7.
10. Методические указания по мобилизации растительных ресурсов и интродукции аридных кормовых растений / З.Ш. Шамсутдинов, Л.А. Назарюк, Ю.И. Ионис [и др.]. – Москва: Российская академия сельскохозяйственных наук, 2000. – 82 с.
11. Миркин, Б.М. Теоретические основы современной фитоценологии / Б.М. Миркин. – М.: Наука, 1985. - 136 с.
12. Одум, Ю. Экология: В 2-х т. / Ю. Одум. - Т. 2. пер. с англ. – М.: Мир, 1986 – 376 с.
13. Работнов, Т.А. Фитоценология / Т.А. Работнов. – М.: МГУ, 1983. - 296.
14. Раменский, А.Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое обследование земель / А.Г. Раменский. – М., 1938 – 615 с.
15. Тимофеев-Ресовский, Н.В. Микроэволюция / Н.В. Тимофеев-Ресовский // Бот. журн. - 1958. - 43, 3. – С. 317-336.
16. Шамсутдинов, З.Ш. Галофиты России, их экологическая оценка и использование / З.Ш. Шамсутдинов, И.В. Савченко, Н.З. Шамсутдинов. – М.: Эдэль-М, 2000. - 399 с.
17. Шамсутдинов, З.Ш. Биогеоценозические основы и методы экологической реставрации деградированных степных и пустынных экосистем / З.Ш. Шамсутдинов, Н.З. Шамсутдинов // Материалы V Международного симпозиума Степи Северной Евразии. – Оренбург: ИПК "Газпромпечат" ООО "Оренбурггазпромсервис", 2009. - С. 77-81.
18. Шамсутдинов, З.Ш. Галофитное растениеводство / З.Ш. Шамсутдинов, Н.З. Шамсутдинов. - М., 2005. - 404 с.
19. Шамсутдинов, З.Ш. Биогеоценозотехнология восстановления и повышения продуктивности пастбищных экосистем / З.Ш. Шамсутдинов, Э.З. Шамсутдинова // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. - 2007. - №3. - С. 37–38.
20. Grime J.P. Plant strategies. Vegetation processes and Ecosystem properties. 2 Edition. Chichester et al.: John Wiley and Sons, Ltd., 2001 – P. 417.
21. Grime J.P. Plants strategies and vegetation processes. Chichester etc.: Wiley, 1979. – 371 p.
22. Hutchinson G.E. Concluding remarks. Cold Spring Harbour Symposium on Quantitative Biology – 1957, 22. – P. 415-427.

23. Seventy-third session. Agenda item 14. Resolution adopted by the General Assembly on 1 March 2019. 73/284. United Nations Decade on Ecosystem Restoration (2021–2030) <https://undocs.org/pdf?symbol=en/A/RES/73/284>
24. Shamsutdinov, N.Z., Shamsutdinova, E.Z., Orlovsky, N.S., Shamsutdinov, Z.Sh. Herald Russ. Acad. Sci. Halophytes: Ecological features, global resources, and outlook for multipurpose use (2017) 87: 1-11.

References

1. Byallovich, Yu.P. On some biogeocenotic foundations of the general theory of phytomelioration / Yu.P. Byallovich // Theoretical problems of phytocenology and biogeocenology. Moscow: Nauka, 1970. pp. 5-16.
2. Vernadsky, V.I. Chemical structure of the Earth's biosphere and its environment/ V.I. Vernadsky. Moscow: Nauka, 1965. - 374 p.
3. State (national) report on the state and use of the lands of the Russian Federation for 1994, Moscow, 1995, - 135 p.
4. Dzybov, D.S. Towards the creation of "portrait models of natural biogeocenoses – agrosteps" / D.S. Dzybov // Anthropogenic processes in vegetation. Ufa: BFAN USSR, 1985. pp. 126-134.
5. Dokuchaev V.V. Our steppes before and now / V.V. Dokuchaev. Moscow: Selkhozgiz, 1953. - 152 p.
6. Zaletaev V.S. Life in the desert (geographical, biogeocenotic and ecological problems) / V.S. Zaletaev. – Moscow: Mysl, 1976 – 271 p.
7. Zozulin, G.M. Scientific and practical aspects of using landscapes as standards of nature / G.M. Zozulin // Man and the biosphere. Rostov: Rostov University Publishing House, 1977. - 336 p.
8. Zonn, I.S. Land resources of arid territories of Russia / I.S. Zonn, I.A. Trofimov, N.Z. Shamsutdinov, Z.S. Shamsutdinov // Arid ecosystems. - 2004. - Vol. 10. № 22-23. - pp. 87-102.
9. Kerzhentsev, A.S. Functional ecology / A.S. Kerzhentsev; [ed. by E.G. Kolomyts]; Foundation Institute. Problems of Biology of the Russian Academy of Sciences. Moscow: Nauka, 2006. - 259 p. ISBN 5-02-034277-7.
10. Methodological guidelines for the mobilization of plant resources and the introduction of arid forage plants / Z.S. Shamsutdinov, L.A. Nazariuk, Yu.I. Ionis [et al.]. – Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences, 2000. – 82 p.
11. Mirkin, B.M. Theoretical foundations of modern phytocenology / B.M. Mirkin. – M.: Nauka, 1985. - 136 p.
12. Odum, Y. Ecology: In 2 volumes. Mind. - Vol. 2. translated from English. – M.: Mir, 1986. – 376 p.
13. Rabetnov, T.A. Phytocenology / T.A. Rabetnov. – M.: Moscow State University, 1983. - 296.
14. Ramensky, A.G. Introduction to a comprehensive soil and geobotanical survey of lands / A.G. Ramensky, Moscow, 1938 - 615 p.
15. Timofeev-Resovsky, N.V. Microevolution / N.V. Timofeev-Resovsky // Bot. journal. - 1958. - 43, 3. – Pp. 317-336.
16. Shamsutdinov, Z.S. Halophytes of Russia, their ecological assessment and use / Z.S. Shamsutdinov, I.V. Savchenko, N.Z. Shamsutdinov, Moscow: Edel-M, 2000, - 399 p.

17. Shamsutdinov, Z.S. Biogeocenotic foundations and methods of ecological restoration of degraded steppe and desert ecosystems / Z.S. Shamsutdinov, N.Z. Shamsutdinov // Proceedings of the V International Symposium Steppes of Northern Eurasia. Orenburg: IPK Gazprompechat LLC Orenburggazpromservice, 2009. pp. 77-81.
18. Shamsutdinov, Z.Sh. Halophyte plant breeding / Z.Sh. Shamsutdinov, N.Z. Shamsutdinov. - M., 2005. - 404 p.
19. Shamsutdinov, Z.Sh. Biogeocenotechnology of restoration and increase of productivity of pasture ecosystems / Z.Sh. Shamsutdinov, E.Z. Shamsutdinova // Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. - 2007. - No. 3. - pp. 37-38.
20. Grime J.P. Plant strategies. Vegetation processes and Ecosystem properties. 2 Edition. Chichester et al.: John Wiley and Sons, Ltd., 2001 – P. 417.
21. Grime J.P. Plants strategies and vegetation processes. Chichester etc.: Wiley, 1979 – 371 p.
22. Hutchinson G.E. Concluding remarks. Cold Spring Harbour Symposium on Quantitative Biology – 1957, 22. – P. 415-427.
23. Seventy-third session. Agenda item 14. Resolution adopted by the General Assembly on 1 March 2019. 73/284. United Nations Decade on Ecosystem Restoration (2021–2030) <https://undocs.org/pdf?symbol=en/A/RES/73/284>
24. Shamsutdinov, N.Z., Shamsutdinova, E.Z., Orlovsky, N.S., Shamsutdinov, Z.Sh. Herald Russ. Acad. Sci. Halophytes: Ecological features, global resources, and outlook for multipurpose use (2017) 87: 1-11.

2.11 ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ СВИНОВОДСТВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО БАЛАНСА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В АГРОЦЕНОЗЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Низкое содержание органического вещества в пахотном слое деградированных земель явилось одной из главных причин перевода таких угодий в залежь в 90-х годах прошлого столетия [3, 9]. По усредненным данным, суммарная площадь выбывших из оборота земель сельскохозяйственного назначения составляет 14,6 млн га, из которых 8,6 млн га приходится на пашню [10, 13]. Для пополнения запасов органического вещества при повторном освоении залежных земель до 2,5...3,0% необходимо в максимально возможных объемах заделывать в пахотный слой измельченные соломисто-пожнивные остатки полевых культур, вносить компосты многоцелевого назначения, возделывать сидеральные культуры, использовать органические отходы животноводческих комплексов в экологически допустимых дозах, применять бытовые отходы, торф, сапропель, эфлюенты и другие виды органических удобрений [4-6].

Большое значение в стабилизации энергетического потенциала агроэкосистемы отводится приемам обработки почвы, которые должны

осуществлять распределение питательных веществ на разной глубине по профилю корнеобитаемого горизонта с учетом биологических особенностей культур, технологии их возделывания, вида вносимых удобрительных средств, состояния плодородия пахотного слоя, его гранулометрического состава и почвенно-климатических ресурсов региона [7, 8]. В совокупности органические удобрения и эффективные приемы обработки почвы обеспечивают доступность элементов питания для агроценозов за счет улучшения условий деятельности почвенной биоты и оптимизации агрохимических процессов гумусонакопления, аммонификации и нитрификации [11-13].

Цель исследований – изучить влияние различных видов удобрений и способов их заделки на баланс органического вещества и его закрепление в пахотном слое осваиваемых малопродуктивных земель под озимой пшеницей в условиях Северо-Западного региона России.

Исследования выполнены в ОАО «Ручьевское-1» Тверской области на повторно вовлеченных мелиорированных землях с открытым дренажем, которые были выведены из сельскохозяйственного оборота в период с 1994 по 2010 гг. В 2011 г. проведены культуртехнические работы по удалению кустарниковой растительности, кочек, выполнена планировка поверхности и химическая мелиорация. В 2012–2014 гг. осуществлена первичная обработка, проведен двукратный уравнительный посев вико-овсяной смеси с заделкой ее измельченной массы в пахотный слой. В 2015 г. заложен 5-польный плодосменный зернопропашной севооборот с чередованием культур: люпин узколистный – сорт Белозерный 110; кукуруза на зеленую массу – гибрид ПР 39 Б 29; озимая пшеница – сорт Скипетр; яровой рапс – сорт Новосел; ячмень – сорт Саншайн.

Опыт заложен методом систематических повторений с трёхкратной повторностью. Учётная площадь одной делянки – 120 м². Исследование выполнено по многофакторной схеме, которая предусматривала оценку влияния следующих факторов, а также их сочетаний:

Фактор А – варианты удобрения почвы: изучалось действие минеральной системы на баланс органического вещества дерново-подзолистой почвы (расчёт доз вёлся под планируемую урожайность) и органической системы с учётом экологических ограничений. Дозы минеральных удобрений под озимую пшеницу для достижения урожайности зерна 45 ц/га рассчитывались согласно методике М.К. Каюмова [2]. Органическая система удобрения предусматривала внесение жидких отходов свиноводческих комплексов в объёме 80 м³/га и твёрдой навозной фракции –

40 т/га. Жидкие стоки в среднем содержали: сухое вещество – 3,0%, общий азот – 0,1%, подвижный фосфор – 0,03%, обменный калий – 0,28%, pH – 7,4. Твёрдая фракция навоза имела следующий состав: сухое вещество – 35...40%, общий азот – 0,54%, подвижный фосфор – 0,29%, обменный калий – 0,60%, pH – 7,9. Контроль – без внесения удобрений. Все удобрения вносились по фону измельчённых соломисто-пожнивных остатков предшественника и заделывались в пахотный слой почвы.

Фактор В – приёмы основной обработки почвы: сравнивались два способа: отвальная вспашка на глубину 18...20 см и минимальная обработка на глубину 7...10 см.

Агротехнические приёмы по возделыванию озимой пшеницы соответствовали общепринятым для данного региона. Агрохимический контроль за динамикой содержания органического вещества почвы осуществлялся в начале и в конце ротации севооборота по ГОСТ 26213-2021. Статистическая обработка полученных данных проводилась методами дисперсионного и корреляционного анализов согласно подходу Б.А. Доспехова [1].

Изучены поступление и общий вынос органического вещества при возделывании озимой пшеницы за 2 ротации 5-польного плодосменного зернопропашного севооборота (табл. 2.20). Установлено, что при всех системах удобрения и способах их заделки максимальное накопление органического вещества в почве обеспечивает внесение измельченной соломы. Так, на контрольном варианте, где в пахотный слой заделывали только растительные остатки побочной продукции, в среднем за 2 ротации севооборота доля соломы в поступлении органического вещества составляет 66,6% при минимальной обработке и 67,3% с применением отвальной вспашки. На долю пожнивно-корневых остатков и последствий предшественника (кукуруза на силос) приходится соответственно 33,4 и 32,7%, что существенно ниже, чем от заделки соломы, при НСР₀₅ для АВ = 10,5%.

Внесение расчетных доз минеральных удобрений под запланированную урожайность зерна озимой пшеницы 45 ц/га также обеспечивало поступление 72,5% органического вещества за счет поверхностной заделки измельченной соломы дисковыми орудиями на глубину 7...10 см и 72,3% – с применением традиционной вспашки на 18...20 см. При этом пожнивно-корневые остатки и предшественник формировали соответственно 27,5 и 27,7% органического вещества, что также достоверно меньше, чем от заделки соломы.

Таблица 2.20 – Вынос и возврат органического вещества (т/га) на посевах озимой пшеницы при разных системах удобрения и разнотравных способах их заделки (2015-2024 гг.)*

Система удобрения (фактор А)		Потация севооборота	Способ обработки (фактор В)												
			Минимальная обработка на 7-10 см					Отвальная вспашка на 18-20 см							
			Об-щий вы-нос, кг/га	от соло-мы	от ПКО и послед-ствия	возврат, т/га	от удоб-рений	всего	Ба-ланс, +/-	Кoeffици-ент возвра-та, %	Об-щий вы-нос, кг/га	от соло-мы	от ПКО и по-сле-дей-ствия	возврат, т/га	от удоб-рений
I. Контроль (без удобрений)	1	2,457	1,450	0,725	0,000	2,175	-0,282	88,5	2,532	1,496	0,730	0,000	2,226	-0,306	87,9
	2	2,485	1,454	0,733	0,000	2,187	-0,298	88,0	2,584	1,520	0,733	0,000	2,253	-0,331	87,2
	все-го	4,942	2,904	1,458	0,000	4,362	-0,580	88,3	5,116	3,016	1,463	0,000	4,479	-0,637	87,6
II. Расчётные дозы мин.уд. на запланирован-ную урожай-ность+ Р ₁₀ кг д.в./га при посеве	1	7,044	4,158	1,592	0,000	5,750	-1,294	81,6	7,288	4,288	1,642	0,000	5,930	-1,358	81,4
	2	7,520	4,437	1,667	0,000	6,104	-1,416	81,2	7,752	4,572	1,750	0,000	6,322	-1,430	81,6
	все-го	14,564	8,595	3,259	0,000	11,854	-2,710	81,4	15,040	8,860	3,392	0,000	12,252	-2,788	81,5
III. Жидкие сто-ки, 80 м³/га+Р ₁₀ кг д.в./га при посеве	1	6,603	3,906	1,512	1,920	7,338	+0,735	111,1	6,737	3,959	1,590	1,920	7,469	+0,732	110,9
	2	6,955	4,105	1,597	1,920	7,622	+0,667	109,6	7,167	4,219	1,644	1,920	7,783	+0,616	108,6
	все-го	13,558	8,011	3,109	3,840	14,960	+1,402	110,4	13,904	8,178	3,234	3,840	15,252	+1,348	109,7
IV. Твердая фракция навоза, 40 т/га+Р ₁₀ кг д.в./га при посе-ве	1	6,262	3,683	1,472	3,600	8,755	+2,493	139,8	6,435	3,773	1,520	3,600	8,893	+2,458	138,2
	2	6,732	3,957	1,551	3,600	9,108	+2,376	135,5	5,960	4,069	1,605	3,600	9,274	+3,314	155,6
	все-го	12,994	7,640	3,023	7,200	17,863	+4,869	137,6	12,395	7,842	3,125	7,200	18,167	+5,772	146,9
НСР ₀₅	для А	0,406	0,248	0,098	0,097	0,443	0,092	6,3							
	для В	0,404	0,241	0,096	0,097	0,434	0,088	5,8							
	для АВ	0,689	0,411	0,168	0,168	0,747	0,152	10,5							

* Исходное содержание органического вещества 1,96% или 58,8 т/га в пахотном слое 0-20 см;

ПКО – пожнивно-корневые остатки

Следует также отметить, что как на контрольном варианте, так и на фоне применения расчетных доз минеральной системы под запланированную урожайность зерна баланс органического вещества почвы был отрицательным, поскольку в обоих случаях вынос с урожаем превосходил его поступление. Так, за период исследования на контроле при минимальной обработке дефицит органического вещества составил $-0,580$ т/га и $-0,637$ т/га по фону отвальной вспашки, а коэффициент возврата достиг значений 88,3 и 87,6% соответственно.

На варианте с внесением расчетных доз минеральных удобрений общий вынос органического вещества с урожаем основной и побочной продукции превысил его поступление на $-2,710$ т/га при минимальной обработке и на $-2,788$ т/га с применением отвальной вспашки, а коэффициент возврата уменьшился до значений 81,4 и 81,5% соответственно, что существенно меньше контроля.

Таким образом, минеральная система удобрения, применяемая в качестве основной при возделывании озимой пшеницы, вызывает наибольший дефицит органического вещества и наименьший коэффициент его возврата при освоении залежных земель с промывным типом водного режима по сравнению с контролем.

Использование в качестве основного удобрения жидких стоков свиноводческого комплекса в дозе $80 \text{ м}^3/\text{га}$ обеспечивает положительный баланс органического вещества при всех способах утилизации, поскольку его поступление в сумме за 2 ротации севооборота превысило вынос с урожаем на $+1,402$ т/га на фоне минимальной обработки и на $+1,348$ т/га с применением отвальной вспашки при коэффициенте возврата соответственно 110,4 и 109,7%.

При заделке измельченных остатков побочной продукции доля соломы в формировании органического вещества почвы в среднем за 2 ротации составляет 53,5%; удобрений – 25,7% и пожнивно-корневых остатков в сочетании с последствием предшественника – 20,8%. Применение отвальной вспашки обеспечивает следующий порядок значений: 53,6; 25,2 и 21,2%. Следовательно, существенных различий по формированию органического вещества при заделке различных компонентов на фоне утилизации жидких стоков при возделывании озимой пшеницы не установлено.

Максимальное поступление органического вещества в пахотный слой осваиваемой дерново-подзолистой почвы отмечено при заделке в качестве основного удобрения твердой фракции навоза в дозе 40 т/га. При этом

в структуре возврата органического вещества доля соломы и доля удобрений практически сравнялись. Так, на фоне минимальной обработки в сумме за 2 ротации севооборота поступление органического вещества составляет: от соломы – 42,8%; от удобрений – 40,3%; от пожнивно-корневых остатков и последствий предшественника – 16,9%. Применение отвальной обработки обеспечивает следующее соотношение его возврата: 43,2%; 39,6 и 17,2%. В итоге положительный баланс органического вещества достиг значения +4,869 т/га при минимальной обработке и +5,772 т/га на фоне применения отвальной вспашки, а коэффициент возврата – соответственно 137,6 и 146,9%.

Достоверных различий по влиянию способов заделки отходов свиного комплекса на баланс органического вещества при освоении малопродуктивных ранее мелиорированных земель не установлено, хотя положительная тенденция в сумме за 2 ротации севооборота отмечена при использовании отвальной вспашки (+0,292 т/га от утилизации жидких стоков и +0,304 т/га от внесения твердой фракции навоза при НСР₀₅ для фактора В = 0,434 т).

Вместе с тем доказано, что на баланс органического вещества достоверное влияние оказывает система удобрения, основанная на использовании органических отходов свиного комплекса в экологически безопасных дозах, поскольку их при внесении, независимо от способа заделки, этот паритет был всегда положительным.

Также доказано, что баланс органического вещества не всегда связан с дозой внесения азота, поскольку при минеральной системе удобрения под запланированную урожайность внесено 130 кг д.в. азота на 1 га; при утилизации 80 м³/га жидких стоков – 80 кг д.в. на 1 га, а при заделке 40 т/га твердой фракции навоза – 216 кг д.в. азота на 1 га. Из этого следует, что внесение расчетных доз минеральных удобрений на запланированную урожайность зерна озимой пшеницы не обеспечивает бездефицитный баланс органического вещества в почве на изученных фонах обработки, поскольку количество солоmistых и пожнивно-корневых остатков не позволяет после их минерализации довести отношение фактического содержания к исходному значению до единицы.

При заделке органических отходов свиного комплекса по фону измельченных солоmistо-пожнивных остатков за счет внесения жидких стоков в среднем за 2 ротации севооборота формируется 25,2...28,3% органического вещества, а от применения твердой фракции навоза – 39,6...40,3%. Это позволяет на начальном этапе освоения залежных земель

существенно увеличить синтез гуминовых соединений над их распадом и обеспечить положительный баланс органического вещества при их вовлечении в хозяйственный оборот и возделывании полевых культур по интенсивным агротехнологиям.

На основании анализа полученных данных можно заключить, что заделка органических отходов свиного комплекса по фону измельченных остатков побочной продукции озимой пшеницы в пахотный слой осваиваемой дерново-подзолистой почвы легкосуглинистого гранулометрического состава с промывным типом водного режима существенно не влияет на накопление в нем органического вещества.

По этой причине при возделывании полевых культур с мочковатой корневой системой можно применять минимальную обработку почвы, которая уменьшает антропогенную нагрузку на агроэкосистему, снижает степень уплотнения пахотного и подпахотного слоев, совмещает технологические операции в одном рабочем процессе, и в конечном итоге резко сокращает энергетические затраты на производство сельскохозяйственной продукции, обеспечивает устойчивость пахотного горизонта к эрозионным процессам. Кроме того, измельченные соломистые остатки злаковых растений лучше всего заделывать в посевной слой почвы 0...10 см, поскольку этот слой более аэрируемый и микробиологически активный, поэтому содержащиеся в соломе токсичные вещества интенсивно разлагаются и в условиях промывного типа водного режима вымываются из корнеобитаемого горизонта без вторичного накопления вредных органических соединений.

Напротив, отвальная вспашка, оборачивая обрабатываемый слой почвы на установленную глубину 18...20 см, разрушает природную систему естественного плодородия верхнего слоя, сформировавшуюся в течение многих столетий, поэтому целесообразно чередовать глубокие обработки с поверхностными. Тем не менее, глубокая заделка удобрений и соломисто-познанных остатков эффективна при возделывании культур со стержневой корневой системой, поскольку таким посевам она обеспечивает благоприятные условия для проникновения и распределения корней по всему профилю почвы, улучшает газообмен и усиливает развитие полезных микроорганизмов, что в итоге способствует переводу питательных веществ в доступную форму и тем самым существенно увеличивает урожайность.

Процесс минерализации органического вещества происходит под воздействием почвенных микроорганизмов, в результате которого осуществляется переход биофильных элементов, закрепленных в органических остатках, в минеральные формы, которые усваиваются

живыми организмами. Неиспользованные соединения в результате процесса гумификации закрепляются в почве, становятся устойчивыми к биологическому разложению и в дальнейшем служат аккумуляторами запасов энергии и элементов питания.

Результаты исследований по условному закреплению органического вещества в зависимости от влияния изучаемых факторов представлены в таблице 2.21.

Таблица 2.21 – Условное закрепление органического вещества в пахотном слое осваиваемой почвы на посевах озимой пшеницы в двух ротациях севооборота (2015-2024 гг.)

Система удобрения (фактор А)	Ротация севооборота	Способ обработки (фактор В)					
		Минимальная обработка на 7-10 см			Отвальная вспашка на 18-20 см		
		поступило, т/га	прибавка, т/га	закрепилось, %	Поступило, т/га	прибавка, т/га	закрепилось, %
I. Контроль (без удобрений)	1	2,175	-0,282	-13,0	2,226	-0,306	-13,7
	2	2,187	-0,298	-13,6	2,253	-0,331	-14,7
	всего	2,181	-0,290	-13,3	2,240	-0,319	-14,2
II. Расчётные дозы мин.уд. на запланированную урожайность +P ₁₀ кг д.в./га при посеве	1	5,750	-1,294	-22,5	5,930	-1,358	-22,9
	2	6,104	-1,416	-23,2	6,322	-1,430	-22,6
	всего	5,927	-1,355	-22,9	6,126	-1,394	-22,8
III. Жидкие стоки, 80 м ³ /га+P ₁₀ кг д.в./га при посеве	1	7,338	+0,735	+10,0	7,469	+0,732	+9,8
	2	7,622	+0,667	+8,8	7,783	+0,616	+7,9
	всего	7,480	+0,701	+9,4	7,626	+0,674	+8,8
IV. Твердая фракция навоза, 40 т/га+P ₁₀ кг д.в./га при посеве	1	8,755	+2,493	+28,5	8,893	+2,458	+27,6
	2	9,108	+2,376	+26,1	9,274	+3,314	+35,7
	всего	8,932	+2,435	+27,3	9,084	+2,886	+31,7
НСР ₀₅	для А	0,376	0,079	1,2			
	для В	0,368	0,072	1,1			
	для АВ	0,651	0,132	2,0			

Установлено, что при всех способах обработки осваиваемой малопродуктивной почвы за счет заделки в пахотный слой только измельченных соломисто-пожнивных и корневых остатков озимой пшеницы не удастся достичь положительных значений закрепления органического вещества. Так, на контрольном варианте в среднем за две ротации севооборота

данный показатель был отрицательным как на фоне минимальной обработки ($-13,3\%$), так и с применением отвальной вспашки ($-14,2\%$). В данном случае различия между способами обработки составляют $0,9\%$, что при $НСР_{05}$ для фактора В = $1,1\%$ соответствует погрешности эксперимента.

Внесение расчетных доз минеральных удобрений на запланированную урожайность зерна озимой пшеницы, хотя и увеличивает поступление органических остатков побочной продукции в $2,71...2,73$ раза по сравнению с контролем, однако дефицит органического вещества из-за его усиленной минерализации и повышенного выноса уменьшил степень условного закрепления органического вещества до $-22,9\%$ при поверхностной обработке и до $-22,8\%$ на фоне отвальной вспашки. Разница относительно стандартного варианта составила соответственно $-9,6$ и $-8,6\%$, что достоверно для взаимодействия изученных факторов при $НСР_{05}$ для АВ = $2,0\%$.

Положительная степень условного закрепления органического вещества достигнута при заделке органических отходов свиного комплекса по фону измельченных остатков побочной продукции озимой пшеницы. В среднем за период исследования утилизация жидких стоков в качестве основного удобрения существенно повысила степень закрепления органического вещества в пахотном слое осваиваемой почвы до $+9,4\%$ при минимальной обработке и до $+8,8\%$ с применением отвальной вспашки. Несущественное повышение данного показателя на фоне минимальной обработки ($+0,6\%$) объясняется снижением фильтрационной активности стоков по сравнению с их заделкой отвальными плугами.

Максимальное значение показателя условного закрепления органического вещества установлено при внесении в качестве основного удобрения твердой фракции навоза в дозе 40 т/га как с применением поверхностной обработки ($+27,3\%$), так и по фону отвальной вспашки ($+31,7\%$), что неоспоримо выше, чем от утилизации жидких стоков в экологически безопасной норме 80 м³/га. Разница по закреплению органического вещества от применения отвальной вспашки в данном случае составляет $4,4\%$ относительно минимальной обработки, что существенно как отдельно для факторов А и В, так и для их взаимодействия.

Выводы

1. При возделывании озимой пшеницы на малопродуктивных дерново-подзолистых почвах легкосуглинистого гранулометрического состава с промывным типом водного режима максимальное поступление органического вещества и его наибольшее накопление обеспечивает заделка в пахотный слой измельченных остатков соломы. В среднем за две ротации

5-польного севооборота ее доля в структуре поступления составляет: на контроле по варианту минимальной обработки – 66,6% и с применением отвальной вспашки – 67,3%; при внесении расчетных доз удобрений на запланированную урожайность – соответственно 72,5 и 72,3%; от утилизации жидких стоков – 53,5 и 52,6%; при использовании твердой фракции навоза – 42,8 и 43,2%.

2. Наибольший дефицит органического вещества в пахотном слое почвы вызывает минеральная система удобрения под запланированную урожайность озимой пшеницы, который в сумме за 2 ротации составил – 2,710 т/га по фону минимальной обработки и – 2,788 т/га с применением отвальной вспашки при коэффициенте его возврата 81,4 и 81,5% соответственно.

3. Заделка органических отходов свинокомплексов в указанных дозах обеспечивает положительный баланс органического вещества, равный +1,402 т/га при минимальной обработке и +1,348 т/га по фону отвальной вспашки при использовании жидких стоков и соответственно +4,869 и +5,772 т/га – при внесении в качестве основного удобрения твердой фракции навоза.

4. Существенных различий по накоплению органического вещества и степени его закрепления в пахотном слое осваиваемой почвы от способов заделки удобрительных средств не установлено, что дает основание рекомендовать минимальную обработку в качестве основной энергосберегающей обработки при возделывании полевых культур с мочковатой корневой системой.

5. Положительная степень условного закрепления органического вещества в пахотном слое малопродуктивных почв установлена только при заделке органических отходов свинокомплекса в допустимых дозах по фону измельченных остатков побочной продукции (в среднем +9,4...+27,3% на минимальной обработке и +8,8...+31,7% с применением отвальной вспашки), тогда как на контрольном варианте и при внесении расчетных доз минеральных удобрений она выражена отрицательными значениями (–13,3...–14,2% и –22,8...–22,9% соответственно).

Список использованных источников

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта // Издание 5: переработанное и дополненное. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
2. Каюмов М.К. Программирование продуктивности полевых культур: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Росагропромиздат, 1989. – 368 с.

3. Кирейчева Л. В., Шевченко В. А. Состояние пахотных земель Нечерноземной зоны Российской Федерации и основные направления повышения плодородия почв // Междунар. с.-х. журн. – 2020. – № 2. – С. 12–16.
4. Красницкий В. М., Мищенко Л. Н., Халилова С. Д. Поступление органического вещества в агроландшафты и агрогенная эволюция почв // Плодородие. – 2006. – № 5 (32). – С. 39–40.
5. Лытов М. Н. Принципы регулирования потоков и баланса биогенных элементов на мелиорированных землях // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2023. – № 3 (71). – С. 141–152. – DOI: 10.32786/2071-9485-2023-03-14.
6. Мажайский Ю. А., Павлов А. А. Влияние гуминового препарата на плодородие залежных земель и урожайность кормовых культур // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2020. – № 4(48). – С. 32–40. – DOI: 10.36508/RSATU.2020.48.4.005.
7. Максименко В. П. Комплексная мелиорация уплотненных почв на орошаемых землях: монография / под ред. акад. РАН Б. М. Кизяева. – М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2022. – 277 с.
8. Матюк Н. С., Полин В. Д. Ресурсосберегающие технологии обработки почвы в адаптивном земледелии: учебное пособие. – М.: РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2013. – С. 5–30.
9. Меньшикова С. А., Максименко В. П. Интенсификация процесса депонирования органических соединений на деградированных и малопродуктивных землях Нечерноземной зоны // Мелиорация земель – неотъемлемая часть восстановления и развития АПК Нечерноземной зоны Российской Федерации: материалы международной научно-практической конференции (24–25 октября 2018 г.). – М.: Изд-во ВНИИГиМ, 2019. – С. 545–550.
10. Сычев В. Г., Шафран С. А., Виноградова С. Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // Агрохимия. – 2020. – № 6. – С. 3–13.
11. Шевченко В. А., Соловьёв А. М., Попова Н. П. Динамика содержания органического вещества при освоении выбывших из оборота малопродуктивных мелиорированных земель в зависимости от системы удобрений и предшественников // Плодородие. – 2019. – № 6 (111). – С. 6–10.
12. Шевченко В. А., Соловьёв А. М., Попова Н. П. Управление показателями почвенного плодородия мелиорированных земель Нечернозёмной зоны разноглубинными приёмами обработки почвы и севооборота, в том числе биологизированными: методические указания. – М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», 2019. – 88 с.
13. Яшин В. М., Кирейчева Л. В., Перегудов С. В. и др. Повышение плодородия деградированных и малопродуктивных почв путем использования удобрительно-мелиорирующих смесей // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – № 5–6. – С. 26–31.

References

1. Dospekhov B.A. Methodology of field experience // Edition 5: revised and expanded. Moscow: Agropromizdat, 1985. - 351 p.
2. Kayumov M.K. Programming the productivity of field crops: A handbook. – 2nd ed., reprint. and add. - M.: Rosagropromizdat, 1989. – 368 p.

3. Kireicheva L. V., Shevchenko V. A. The state of arable lands in the Non-Chernozem zone of the Russian Federation and the main directions for increasing soil fertility // International Agricultural Journal 2020, No. 2, - pp. 12-16.
4. Krasnitsky V. M., Mishchenko L. N., Khalilova S. D. The supply of organic matter to agrolandscapes and the agrogenic evolution of soils. – 2006. – № 5 (32). – Pp. 39-40.
5. Lytov M. N. Principles of regulating the flows and balance of biogenic elements on reclaimed lands // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo complex: Science and higher professional education. – 2023. – № 3 (71). – Pp. 141-152. – DOI: 10.32786/2071-9485-2023-03-14.
6. Mazhaisky Yu. A., Pavlov A. A. The effect of a humic preparation on the fertility of fallow lands and the yield of forage crops // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. – 2020. – № 4(48). – Pp. 32-40. – DOI: 10.36508/RSATU.2020.48.4.005.
7. Maksimenko V. P. Complex reclamation of compacted soils on irrigated lands: monograph / ed. akad. RAS B. M. Kizyaeva, Moscow: Kostyakov VNIIGiM Federal State Budgetary Scientific Institution, 2022, - 277 p.
8. Matyuk N. S., Polin V. D. Resource-saving technologies of tillage in adaptive agriculture: a textbook. Moscow: RGAU-MSHA named after K. A. Timiryazev, 2013. - pp. 5-30.
9. Menshikova S. A., Maksimenko V. P. Intensification of the deposition of organic compounds on degraded and unproductive lands of the Non-Chernozem zone // Land reclamation is an integral part of the restoration and development of the agro-industrial complex of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation: proceedings of the international scientific and practical conference (October 24-25, 2018). Moscow: VNIIGiM Publishing House, 2019. - pp. 545-550.
10. Sychev V. G., Shafran S. A., Vinogradova S. B. Soil fertility in Russia and ways of its regulation // Agrochemistry. 2020. No. 6. - pp. 3-13.
11. Shevchenko V. A., Solovyov A.M., Popova N. P. Dynamics of organic matter content in the development of unproductive reclaimed lands, depending on the system of fertilizers and precursors // Fertility. – 2019. – № 6 (111). – pp. 6-10.
12. Shevchenko V. A., Solovyov A.M., Popova N. P. Management of soil fertility indicators of reclaimed lands of the Non-Chernozem zone by multi-depth tillage techniques and crop rotations, including biologized ones: methodological guidelines. Moscow: Kostyakov VNIIGiM Federal State Budgetary Institution, 2019. - 88 p.
13. Yashin V. M., Kireicheva L. V., Peregudov S. V. and others. Increasing the fertility of degraded and unproductive soils through the use of fertilizer-reclamation mixtures // Land reclamation and Water Management, 2014, No. 5-6, - pp. 26-31.

2.12 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПУСТЫННЫХ ПАСТБИЩ ПРИКАСПИЙСКИХ ПУСТЫНЬ

Природные пастбища являются одними из основных национальных богатств нашей страны. Эта категория земель сельскохозяйственного назначения находится в собственности государства. Обеспечение рационального использования и охраны пастбищ является важнейшей государственной задачей, закреплённой в «Национальной программе

социально-экономического развития Туркменистана на 2011-2030 гг.» Общая площадь пастбищ Туркменистана составляет около 39 млн га. Природные пастбищные угодья являются основными источниками кормов для отгонного скота в течение круглого года, что позволяет получать ценную животноводческую продукцию в виде мяса, шерсти, молока. Эта отрасль животноводства во многом зависит от состояния и продуктивности природных пастбищ [1].

В связи с важностью сохранения природных пастбищ от процессов деградации в нашем институте проводятся исследовательские работы по выявлению негативных процессов, связанных с изменением климата и влияния различных экологических факторов. Это позволяет эффективно использовать накопленные знания по рациональному использованию и охране конкретной территории на практике.

Одним из многочисленных проектов, разрабатываемых в институте, был проект по изучению пастбищ северо-западного Туркменистана и территорий, прилегающих к заливу Карабогазгол, расположенных в границах этрапа Туркменбаши Балканского вelayата (рис. 2.16).



Рисунок 2.16 - Территория и маршруты геоботанических обследований северо-западного Туркменистана

Рельеф этого района крайне разнообразный. Здесь имеются горные хребты, холмистая местность и равнины с довольно сглаженным рельефом. На севере исследуемого района распространены плоские платообразные равнины с изреженной солянковой растительностью. Характерны почти отвесные обрывы-чинки, ограничивающие кыры. Также выделяются группы пятен такыров, прилегающих к подножию чинковых уступов и непосредственно к понижениям на плато [2].

Наиболее обширную часть территории занимает Красноводское плато, вытянутое с запада на восток. Основные площади представлены кыровыми возвышенными равнинами, с плоскими участками и небольшими котловинами. Днища котловин с такыровидными или опесчаненными почвами покрыты неоднородной, часто изреженной полынно-солянковой растительностью. Глинистые и щебневые склоны и обрывы, русла селевых потоков покрыты группировками растений от кустарников до однолетников. На севере плато обрывается крутым уступом к приморской равнине. В центральной части плато расположен песчаный массив с мелкокустарниковой и полукустарниковой растительностью (полынники, тетерники, бияргунники и кевреичники).

На севере плато расположены большие массивы солончака Кукуртшор. Большие площади солончаков расположены также вокруг залива Карабогазгол, которые образовались в результате понижения уровня воды в заливе. Площади солончаков со временем увеличиваются.

Довольно большую площадь занимает песчаный массив Октумгум, покрытый крупнокустарниковыми группировками. В центральной части песков рельеф – грядовый, а на севере – бугристый. Песчаные гряды, достигающие в высоту 10...20 м и протяженностью в несколько км, хорошо закреплены растительностью. По краям Октумгума выделяется полоса слабо закрепленных и подвижных песков. На песках растительность представлена саксаулом, черкезом, кандымом с преобладанием в травянистом покрове илака, также в большом количестве встречаются злаки и разнотравье.

Вдоль западной части района, узкой полосой тянутся Приморские ракушечниковые пески с травянисто-кустарниковой растительностью.

Территория пустынных пастбищ Прикаспийских пустынь неоднородна по рельефу и почвенному покрову, что обуславливает наличие различных экологических условий для развития растений и создает предпосылки для образования различных растительных группировок.

Основной целью данного проекта было исследование закономерностей изменения различных параметров растительного покрова в зависимости от особенностей природно-климатических условий данного региона (по сезонам года, и в разные по метеорологическим условиям годы), выявление смены растительных сообществ, изучение динамики урожайности пустынных пастбищ, определение состояния водообеспеченности и хозяйственного значения исследуемой территории.

Кроме того, предполагалось выявить посезонную динамику биоразнообразия и продуктивности пустынных фитоценозов, их изменения под воздействием антропогенных факторов в исследуемом регионе, и подготовить предложения для их дальнейшего эффективного использования.

Полученные сведения о растительном покрове и продуктивности пастбищ исследуемого района являются результатом полевых исследований, проводившихся в 2021-2025 гг. При этом использовался детально-

маршрутный метод геоботанических исследований, в том числе и с применением дистанционных методов. После выбора объектов и необходимых контуров исследования проводилось тщательное геоботаническое описание каждого растительного сообщества по установленной форме, согласно общепринятым методикам [5].

Классификация растительности определялась до уровня формаций по принципу доминантного вида. Для каждого отдельного фитоценоза на модельных участках изучаются видовые особенности, их фенологическое состояние, проективное покрытие (насыщенность), степень количественного показателя, жизнеспособность, распространения фитомассы. Данные заносятся в бланк геоботанического описания.

Для изучения урожайности пастбищ в различных фитоценозах берутся образцы растений, поедаемые скотом, отдельно кустарники, полукустарники, а также многолетние и однолетние растения. При определении кормовой продуктивности учитывается общая урожайность и величина поедаемого запаса. В условиях пустынной зоны большое значение имеет динамика общего и поедаемого запаса корма по сезонам года.

В Центрально-азиатском регионе уже давно разработаны и успешно используются методы однократного определения запаса корма на пастбищах с последующими расчетами сезонной динамики в камеральных условиях. Для этой цели используются специальные таблицы и графики сезонного накопления кормовой массы различными видами пустынных пастбищных растений [3;4].

Изучение флористического состава и строения фитоценозов (различных типов пастбищ) необходимо для выяснения экологических и биологических условий произрастания растений. По количественному и проективному участию растений в образовании естественных кормовых угодий можно судить об особенностях влияния на них факторов внешней среды. Это позволит более правильно выбрать способы рационального использования и мероприятия по улучшению пастбищ.

Отмечая маршруты экспедиций в течение 5 лет, мы обозначили территорию, на которой проводились детальные геоботанические обследования, общая площадь которых составила около 2 млн 250 тыс. га, включая пастбища песчаной и гипсовой пустыни. Также на этой территории определено более 300 тыс. га неудобий, которые представлены такырами, солончаками, каменистыми склонами, обрывами, кырами, оврагами.

На основании полученных материалов обследования было выявлено 2 класса пастбищ, 5 групп типов пастбищ, 12 типов, 27 производственных контуров различных как по растительным сообществам, так и по уровню кормовых запасов.

Пастбища песчаной пустыни распространены небольшими участками в центральной и южной части района, отдельным массивом Октумгум, и на приморских ракушечниковых песках вдоль побережья Каспийского моря. Несмотря на разреженность растительного покрова четко выражена его

ярусность. Верхний ярус складывается из кустарников высотой 120...250 см: белый саксаул (сазак), черный саксаул (оджар), солянка Рихтера (черкез), хвойник шишконосный (борджок) и кандым. Средний ярус высотой 60...90 см формируется из полукустарничков и крупных трав: полыни (евшан), астрагалы (сингрэн), селины и др. Нижний ярус складывается из осоки (илак) и мелких однолетних трав.

Первый класс пастбищ объединяет 3 группы типов: сазакковые, черкезовые, евшановые. Пастбища песчаной пустыни пригодны для круглогодичного использования, кроме евшановых пастбищ, которые целесообразно использовать в осенне-зимний период.

Помимо этого, в рамках данного проекта было проведено изучение прибрежных песчаных ракушечников с кустарниково-травянистой растительностью, занимающих почти 90 тыс. га и расположенных узкой полосой по обе стороны дороги Туркменбаши-Бекдаш. Ранее они считались неудобьями или малопродуктивными и не входили в территорию пастбищ как угодья.

Сами пески, как почвы, бедны питательными веществами и только благодаря благоприятному водному режиму местами имеют довольно густой растительный покров, который располагается отдельными пятнами. Растительность очень пестра по видовому составу и густоте произрастания. Местами пески имеют хороший травостой злаков, которые возможно заготавливать на сено. В основном растительный покров представлен полынью Келлера (сизой), селитрянкой Комарова, астрагалами древовидным и туркменским, вьюнками, ковылями и злаками разного вида.

В настоящее время за счёт кустарников увеличивается и количество травянистой растительности и происходит частичное задерновывание песчаных ракушечников. Эти участки, имеют достаточные кормовые запасы и частично пригодные под выпас мелкого рогатого скота и верблюдов, могут использоваться как пастбища. К тому же для этих территорий необязательно тянуть водоводы, можно использовать мобильную доставку воды по существующим автотрассам. В таблице 2.22 дается кормовая характеристика этого класса пастбищ.

На преобладающей части исследуемого района распространены пастбища гипсовой пустыни. В большинстве это полукустарниковые пастбища с незначительным участием травянистых растений с редкими кустарниками. Из кустарников встречается оджар (кыровая форма) в комплексе с однолетними солянками.

Наиболее распространенными сообществами являются евшановые, тетыровые, биюргуновые, как в сочетании друг с другом, так и зачастую с участием кеврейка, боялыча, реже оджара. Травянистый покров развит довольно слабо, состоит из эфемеров и эфемероидов. Наиболее ценным является илак, а в осенний период – однолетние солянки. В таблице 2.23 дается кормовая характеристика этого класса пастбищ.

Таблица 2.22 - Характеристика пастбищ песчаной пустыни

№ типа	Название типа	Площадь, га	Среднегодовой поедаемый запас, ц/га	Годовая норма пастбищ на 1 гол.
1	Сазаково-кандымово-черкезовые	73308	7,2	1,31
2	Черкезово-илаковые с боялычем	8688	2,2	4,61
3	Евшаново-эфемеровые с солянками	24419	3,7	2,22
4	Евшаново-кандымовые с селином	217542	8,2	1,15
5	Евшаново-селитрянковые	89240	8,2	1,16
Итого по классу ППП		413195		

Таблица 2.23 - Характеристика пастбищ гипсовой пустыни

№ типа	Название типа	Площадь, га	Среднегодовой поедаемый запас, ц/га	Годовая норма пастбищ на 1 гол.
1	Евшаново-солянковые с оджаром	60555	6,7	1,39
2	Евшановые с боялычем и кевреиком	547165	14,0	0,62
3	Евшановые	154190	6,7	1,41
4	Евшаново-боялычево-кевреиковые	332595	8,2	1,17
5	Тетыровые	49213	2,8	3,39
6	Тетырово-евшановые с кевреиком и биюргуном	333126	3,4	3,15
7	Тетырово-биюргуново-евшановые	27730	1,9	5,0
Итого по классу ППГ		1504574		

На основании полученных данных, согласно классификации, была создана схема урожайности контуров пастбищ исследуемой территории (рис. 2.17).

В связи с этим в настоящее время площадь пастбищ, используемая на территории обследования, составляет около 200 тыс. га, исходя из рекомендуемых норм выгона скота. После последней инвентаризации, видовой состав пастбищных растений изменился незначительно, что не повлияло на смену типов пастбищ. В целом эти пастбища не утратили свою ценность, а в некотором смысле даже улучшили, отдыхая от перевыпаса.

Рациональное использование кормовых запасов с внедрением в пастбищеоборот максимально пригодных к скармливанию территорий

различных типов пастбищ поможет лучше обеспечить имеющееся в настоящее время поголовье, а также его дальнейший прирост.

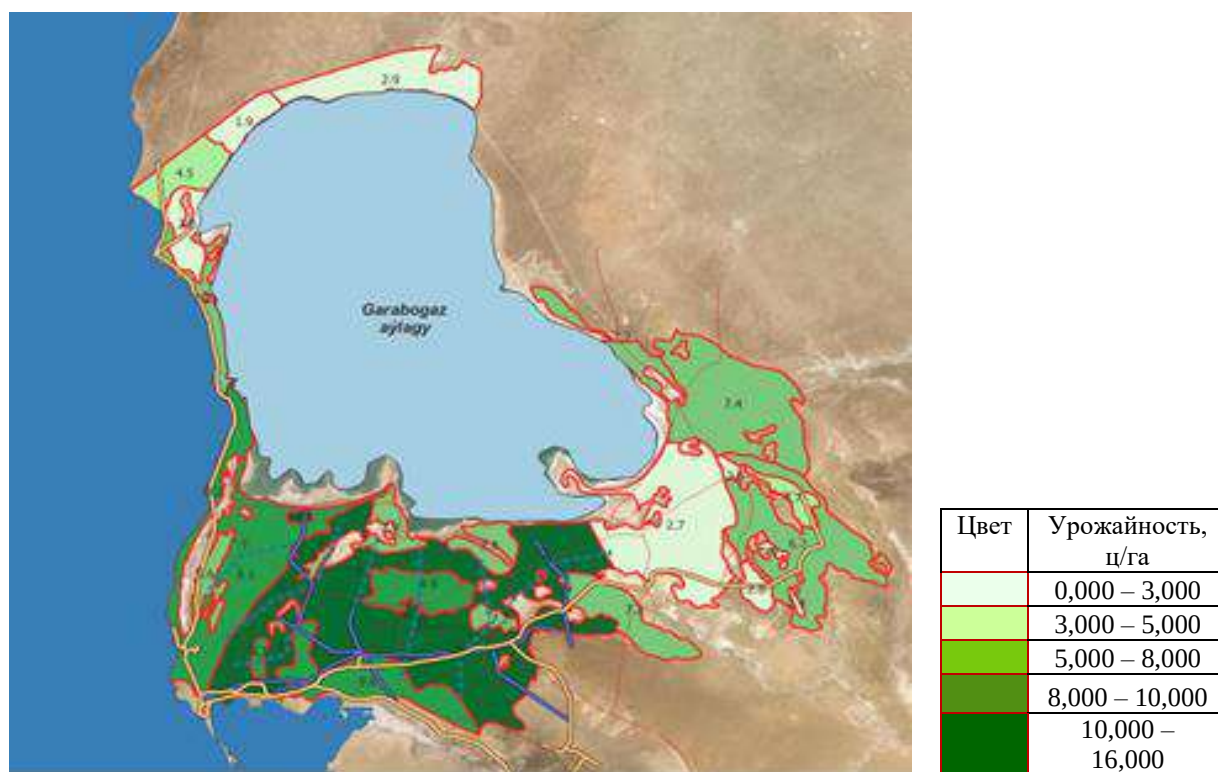


Рисунок 2.17 - Классификация пастбищ по урожайности

Использование пастбищ в хозяйственных целях зависит не только от количества кормов, но и от их водообеспеченности, так как с этим тесно связаны сроки использования пастбищ и нормы нагрузки. Гидрологические условия на территории района очень сложные. На большей части площади грунтовые воды залегают на глубине 50...100 м. На значительных массивах грунтовые воды вообще отсутствуют. Минерализация грунтовых вод на преобладающей территории колеблется в пределах 3...15 г/л и более.

Наиболее эффективным в этих условиях остается использование магистрального водовода из района Чильмамедкумов, построенного ещё в 80-х годах прошлого века. Обводнение прилегающих к водопроводу пастбищных массивов можно было бы осуществлять кустовым методом путем отвода воды по мелким водопроводам (рис. 2.18), или подвозки воды на автомашинах на небольшие расстояния.

Остается также перспективным метод обводнения путем использования поверхностного стока атмосферных осадков на такырах. На крупных такырах целесообразно строительство (восстановление) бетонированных сардоб емкостью 200...500 кубических метров для сохранения воды в летний период. Кроме того, необходимо провести некоторые работы по реконструкции уже имеющейся системы водоводов, добавив к ним ответвления на необводнённые участки пастбищ с целью их большего охвата. В этом случае общая площадь пастбищ, пригодных к использованию увеличится в 5 раз.



Рисунок 2.18 - Схема возможного обводнения района

В настоящее время пастбища используются по сезонному принципу весна-лето, а в осенне-зимний период в основном размещаются на зимних кошарах возле посёлков что находится за 50...100 км от отгонных пастбищ. Этот факт приводит к частичному истощению отар за счёт длинных перегонов и возможного падежа скота.

В случае реконструкции водоводной системы, учитывая в своём большинстве хорошую кормоёмкость пастбищ, а также неплохую дорожную сеть и компактное размещение населённых пунктов на этой территории, есть возможность внедрения поэтапного использования пастбищ на круглогодичной основе с учётом строительства зимних кошар и прочей необходимой инфраструктуры (места вакцинации, стрижки овец, мест размещения зимнего страхового кормового запаса и места проживания чабанов). Кроме того, круглогодичное использование пастбищ позволит внедрить обоснованный пастбищеоборот, позволяющий эффективно и рационально их использовать. Первым этапом могли бы стать участки возле населённых пунктов на этой территории, и в перспективе с учётом полученного опыта их дальнейшего расширения.

Выводы

1. В результате проведённых исследований выявлены типы растительности и входящие в их состав формации и ассоциации для песчаных и гипсовых пустынь.

2. При наличии хороших кормовых запасов, как песчаные, так и гипсовые пастбища используются только в весенне-летний период. Из-за недостатка водообеспеченности пастбища используются неравномерно

и зачастую остаются нетронутыми, а на зимовку отары перегоняют к населённым пунктам, с подготовленными там страховыми запасами кормов.

3. Для рационального и эффективного использования обследованной пастбищной территории, необходимо проведение следующих мероприятий:

- а) плановое использование пастбищ, с включением пастбищеоборотов;
- б) создание равномерной сети водоемчиков;
- в) создание полнофункциональной инфраструктуры (места вакцинации и стрижки овец, места размещения зимнего страхового кормового запаса и места проживания чабанов);
- г) создание условий по формированию страховых запасов кормов для зимней подкормки и возможностей для восполнения кормов в неурожайные годы;
- д) определение участков пастбищ, предполагаемых для поверхностного и коренного улучшения.

Список использованных источников

1. Аннамухамедов, О. Природные пастбища и развитие отгонного животноводства в Туркменистане / О. Аннамухамедов, Х. Ханчаев, Ё. Кепбанов [и др.]. – А.: Ылым, 2014. – 132 с.
2. Бабушкин, Л.Н. Физико-географическое районирование Туркменской ССР / Л.Н. Бабушкин, Н.А. Когай. - Ташкент: Изд-во «Фан» Узбекской ССР, 1971. – 184 с.
3. Никитин, В.В. Определитель флоры Туркменистана / В.В. Никитин, А.М. Гельдиханов. – Л.: Наука, 1988. – 680 с.
4. Николаев, В.В. Методические указания по детальному геоботаническому обследованию пустынных пастбищ с применением дистанционных методов / В.В. Николаев, В.Н. Николаев, Р.А. Алиев [и др.]. – Ашхабад: Ылым, 1981. – 78 с.
5. Полевая геоботаника / под ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагина. - М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1964. - Т. 3. - 530 с.

References

1. Annamukhamedov, O. Natural Pastures and the Development of Transhumance in Turkmenistan / O. Annamukhamedov, Kh. Khantayev, Y. Kepbanov [et al.]. – A.: Ilym, 2014. – 132 p.
2. Babushkin, L.N. Physical and Geographical Zoning of the Turkmen SSR / L.N. Babushkin, N.A. Kogay. - Tashkent: Fan Publishing House of the Uzbek SSR, 1971. – 184 p.
3. Nikitin, V.V. Flora of Turkmenistan / V.V. Nikitin, A.M. Geldikhanov. – L.: Nauka, 1988. – 680 p.
4. Nikolaev, V.V. Methodological guidelines for detailed geobotanical survey of desert pastures using remote methods / V.V. Nikolaev, V.N. Nikolaev, R.A. Aliev [et al.]. – Ashgabat: Ylym, 1981. – 78 p.
5. Field geobotany / edited by E.M. Lavrenko, A.A. Korchagin- M.; L.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1964. - Vol. 3. - 530 p.

2.13 РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА МНОГОСЛОЙНОГО МАССИВА

Существующие методы расчета устойчивости откосов и склонов предусматривают, как правило, наличие однородного массива грунтов.

Однако, достаточно часто встречаются массивы, представленные неоднородными слоями грунтов, что необходимо учитывать при расчетах.

В настоящей статье рассматривается методика расчета устойчивости откоса или склона с учетом неоднородности слоев в массиве и при учете изменяющегося значения сцепления грунтов по глубине массива.

Как известно, методы расчета устойчивости откосов и склонов базируются на теории предельного равновесия грунтов, объясняемой теорией прочности Кулона [1, 4, 6], согласно которой «... предельное сопротивление связных грунтов сдвигу есть функция первой степени от нормального давления».

С другой стороны, в грунтах предельное сопротивление сдвигу можно рассматривать как сопротивление сцеплению между минеральными частицами прямо пропорциональное действующему нормальному давлению. Если рассматривать процесс устойчивости откосов с данной точки зрения, то данный процесс будет зависеть от изменяющейся величины сцепления всех слоев грунта, составляющих рассматриваемый массив.

Рассмотрим многослойный грунтовый массив, состоящий из 3-х различных слоев, залегающих по глубине и отличающихся друг от друга. Каждый из слоев грунта при этом будет характеризоваться своим графиком предельного сопротивления сдвигу, характеризуемым углом внутреннего трения (φ_i) и величиной сцепления (c_i). Построим график сопротивления сдвигу последовательно для всех грунтов по глубине массива (рис. 2.19).

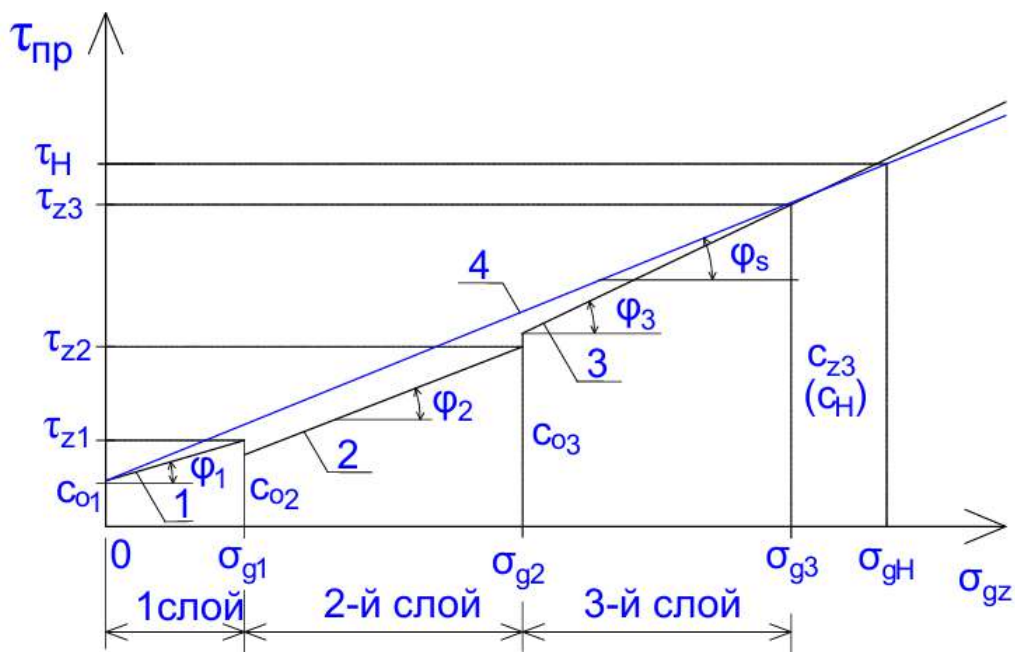


Рисунок 2.19 - График предельного сопротивления сдвигу квазиоднородного массива грунтов

Так как все слои грунта в массиве работают как одно целое, то и массив, в целом, можно представить как квазиоднородный, с характерными для него средневзвешенными прочностными параметрами (c и φ).

Величина угла внутреннего трения грунтов массива будет равна средневзвешенному значению, определяемому по зависимости [5, 7]

$$\varphi_s = \frac{\varphi_1 h_1 + \varphi_2 h_2 + \varphi_3 h_3}{h_1 + h_2 + h_3} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (2.5)$$

При построении графика сопротивления сдвигу квазиоднородного массива величина удельного сцепления (c_o) принимается равной для первого от поверхности слоя грунта.

Приведем массив, приведенный на рисунке 2.19 к квазиоднородному.

Величина собственного веса грунтов (σ_{gz}) по глубине (z) массива в случае квазиоднородного грунта, определится согласно зависимости

$$\sigma_{gz} = \gamma^{sr} \cdot z \quad (2.6)$$

где: γ^{sr} – объемный вес грунта в квазиоднородном массиве, принимаемый равным

$$\gamma^{sr} = \frac{\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3}{h_1 + h_2 + h_3} = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i h_i}{H} \quad (2.7)$$

Величина предельного сопротивления сдвигу ($\tau_{H\sigma}$), численно равная величине изменяющегося сцепления ($c_{H\sigma}$) по глубине массива H , будет равна

$$\tau_{H\sigma}(c_{H\sigma}) = \sigma_{gH} \cdot \operatorname{tg} \varphi_s + c_o \quad (2.8)$$

где: $\tau_{H\sigma} = \tau_{прH}$ – величина предельного сопротивления сдвигу на глубине H при действии собственного веса вышележащих слоев грунта, равного σ_{gH} ;

$c_{H\sigma}$ – величина переменного сцепления в квазиоднородном массиве на глубине H при действующей гравитационной нагрузке σ_{gH} ;

σ_{gH} – давление от собственного веса грунта в квазиоднородном массиве на глубине H ;

c_o – величина удельного сцепления первого от поверхности земли слоя грунта.

Расчетная схема откоса, в соответствии с предлагаемой методикой расчета приведена на рисунке 2.20.

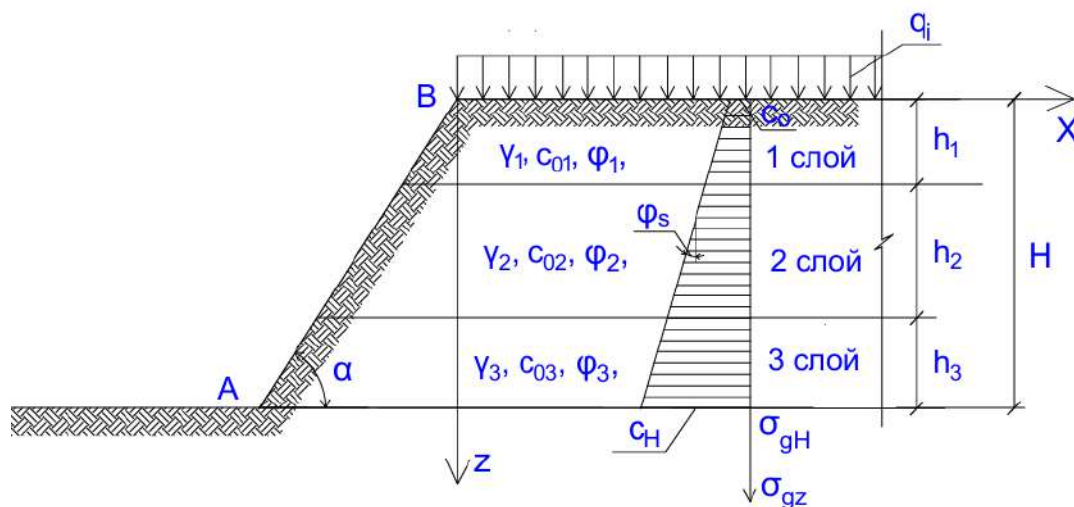


Рисунок 2.20 - Расчетная схема для расчета устойчивости откоса с изменяющимся сцеплением грунта по глубине массива

При действии на верхней поверхности откоса дополнительной равномерно распределенной нагрузки (q_i), расчетная схема примет вид, представленный на рисунке 2.21 [2, 3, 7, 9].

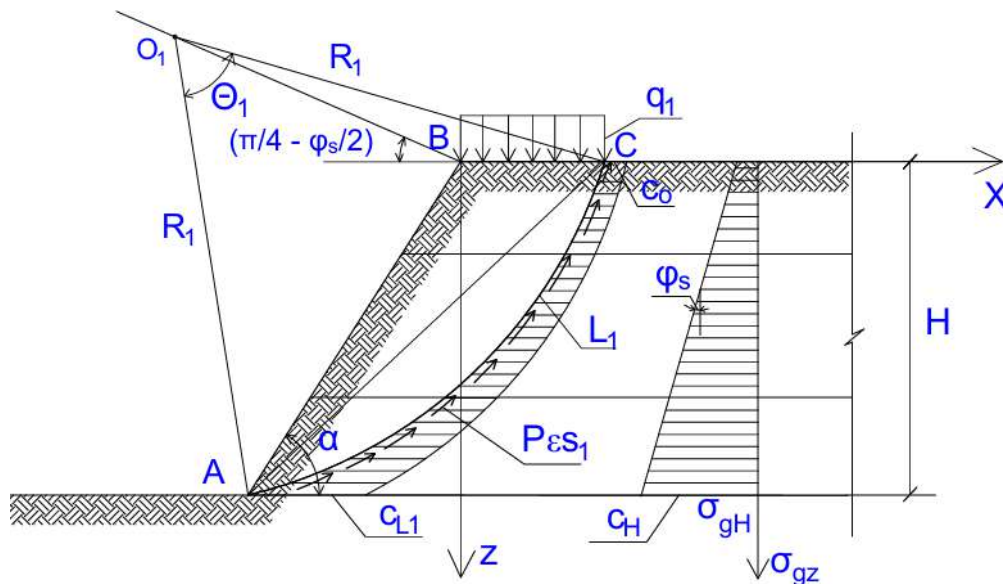


Рисунок 2.21 - Расчетная схема построения круглоцилиндрической поверхности скольжения при изменяющемся сцеплении по глубине массива, где:

O_1, O_2, O_3 - центры поверхностей скольжения, определяемых по существующим методикам расчета; H - высота откоса; R_1 и L_1 - соответственно радиус и длина дуги наивероятнейшей поверхности скольжения с центром в точке O_1

Проведем из точки A перпендикуляр до пересечения с верхней горизонтальной поверхностью откоса. При этом получим отрезок DB , равный;

$$DB = \cdot tg(90^0 - \alpha) = H \cdot tg(90^0 - \alpha) \quad (2.9)$$

Длина поверхности скольжения (L), (дуга $\overline{AC}$) будет равна:

$$\overline{AC} = L = \frac{\pi R_1 \cdot \theta^0}{180^0} = 0,01745 \cdot R_1 \cdot \theta^0 \quad (2.10)$$

где: R – значение радиуса круглоцилиндрической поверхности скольжения;
 θ^0 – значение центрального угла дуги $\overline{AC}$.

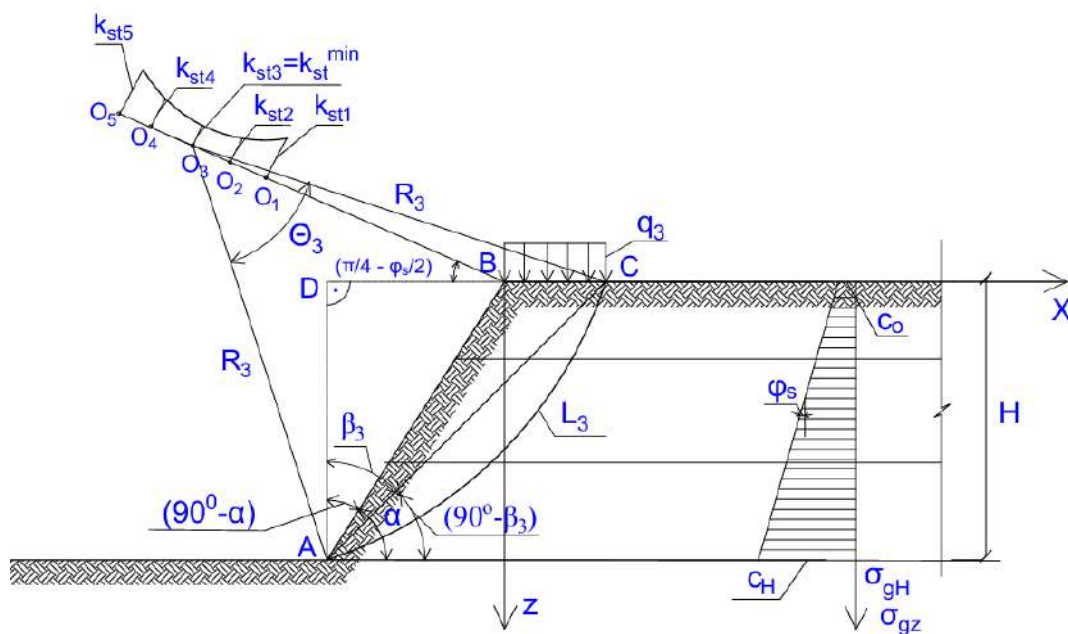


Рисунок 2.22 - Определение наивероятной поверхности скольжения склона для поверхности скольжения с центром в точке O_3)

При этом длина отрезка (хорды) AC , соединяющей границы дуги $\overline{AC}$ (L_1) определится по формуле:

$$AC = 2R_1 \cdot \sin \frac{\theta_1}{2} \quad (2.11)$$

При расчете устойчивости строится первая круглоцилиндрическая поверхность скольжения с центром в точке O_1 , принимаемая на линии, проведенной под углом $\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_s}{2}\right)$ к горизонту и отстоящей от точки В на расстоянии $(0,25 - 0,4) \cdot H$.

Значение косинуса угла β_1 на рисунке 2.19 определится из ΔADC :

$$\cos \beta_1 = \frac{AD}{AC} = \frac{H}{(2R_1 \cdot \sin \frac{\theta_1}{2})} \quad (2.12)$$

откуда угол β будет равен

$$\beta_1 = \arccos \left(\frac{H}{2R_1 \cdot \sin \frac{\theta_1}{2}} \right) \quad (2.13)$$

Отрезок DC определится из зависимости

$$DC = AD \cdot \operatorname{tg} \beta_1 = H \cdot \operatorname{tg} \left[\arccos \left(\frac{H}{2R_1 \cdot \sin \frac{\theta_1}{2}} \right) \right] \quad (2.14)$$

Площадь оползневого массива (S_{ABCL}), в соответствии с выполненными построениями, будет равна (рис. 2.19):

$$S_{ABCL} = S_{ADC} + S_{ACL} - S_{ADB} \quad (2.15)$$

где: (S_{ADC}) – площадь треугольника ADC, равная

$$S_{ADC} = \frac{1}{2} \cdot H^2 \cdot \operatorname{tg} \left[\arccos \left(\frac{H}{2R_1 \cdot \sin \frac{\theta_1}{2}} \right) \right] \quad (2.16)$$

S_{ACL} – площадь сегмента ACL , равная

$$S_{ACL} = \frac{1}{2} \cdot R_1^2 \cdot \left(\frac{\pi \theta_1^0}{180^0} - \sin \theta_1^0 \right) \quad (2.17)$$

S_{ADB} – площадь треугольника ADB, равная

$$S_{ADB} = \frac{1}{2} H^2 \cdot \operatorname{tg}(90^\circ - \alpha) \quad (2.18)$$

Подставив (2.15) – (2.17) в (2.14) и после преобразований получим:

$$S_{ABCL} = \frac{1}{2} \left\{ H^2 \left[\operatorname{tg} \left(\arccos \frac{H}{2R_1 \cdot \sin \frac{\theta_1}{2}} \right) - \operatorname{tg}(90^\circ - \alpha) \right] + \left(\frac{\pi \theta_1^0}{180^\circ} - \sin \theta_1^0 \right) \cdot R_1^2 \right\} \quad (2.19)$$

Объем оползневого массива (V_{ABCL}), численно равен площади (S_{ABCL}) умноженной на 1 погонный метр ширины оползня:

$$V_{ABCL} = S_{ABCL} \cdot 1 \text{ пог. м} \quad (2.20)$$

По величине средневзвешенного значения объемного веса квазиоднородного грунта (γ^{sr}), определяемого по зависимости (3), с учетом зависимостей (2.19) и (2.20), определим вес оползневого массива (P_{gi}), который согласно рисунку 2.23 будет равен:

$$P_{gi} = \frac{1}{2} \cdot \gamma^{sr} \left\{ H^2 \left[\operatorname{tg} \left(\arccos \frac{H}{2R_1 \cdot \sin \frac{\theta_1}{2}} \right) - \operatorname{tg}(90^\circ - \alpha) \right] + \left(\frac{\pi \theta_1^0}{180^\circ} - \sin \theta_1^0 \right) \cdot R_1^2 \right\} \quad (2.21)$$

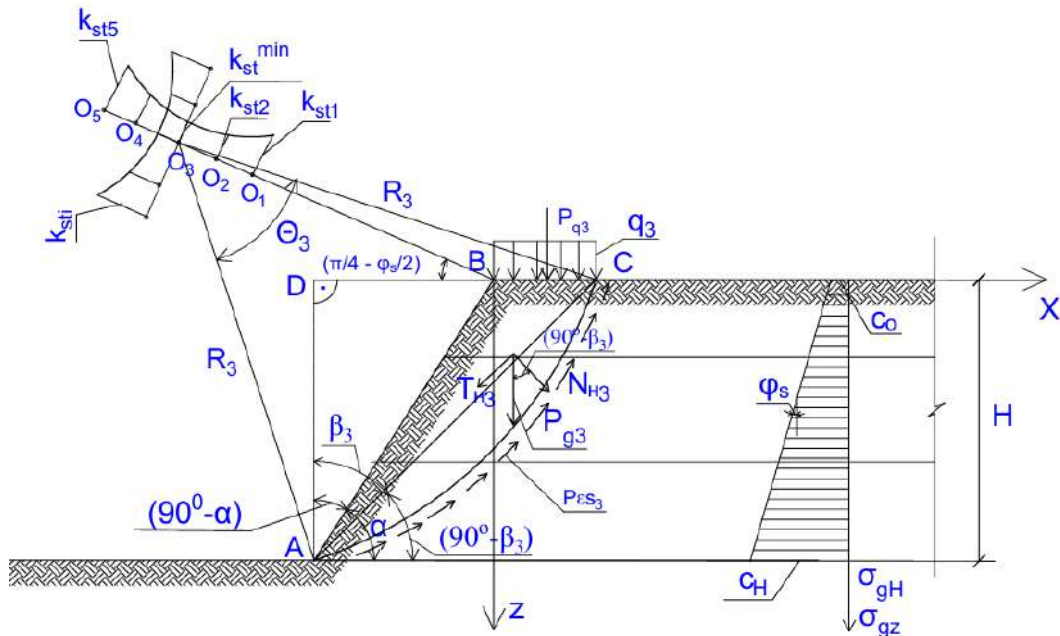


Рисунок 2.23 - Схема удерживающих (NH_3) и сдвигающих (TH_3) сил в оползневом массиве (для поверхности скольжения с центром в точке O_3)

Значение дополнительно приложенной к оползневому массиву вертикальной (сдвигающей) нагрузки (P_{qi}) будет равно [6, 8]:

$$\begin{aligned}
P_{qi} &= q_i \cdot BC \cdot 1 \text{ пог. м} = q_i \cdot (DC - DB) \cdot 1 \text{ пог. м} = \\
&= q_i \cdot \left\{ H \left[\operatorname{tg} \left(\arccos \frac{H}{2R_1 \cdot \sin \frac{\theta_1}{2}} \right) - \operatorname{tg}(90^\circ - \alpha) \right] \right\} \cdot 1 \text{ пог. м} \quad (2.22)
\end{aligned}$$

В свою очередь, значение удерживающей силы ($P_{\varepsilon s}$), обусловленной изменяющимся по глубине массива сцеплением грунта (c_z), будет равно:

$$P_{\varepsilon s} = \left(c_0 \cdot L_1 + \frac{1}{2} \cdot \gamma^{sr} \cdot L_1^2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_s \right) = \left(c_0 + \frac{1}{2} \cdot \gamma^{sr} \cdot L_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_s \right) \cdot L_1, \quad (2.23)$$

Разложив нагрузку, включающую собственный вес оползающего массива (P_{gi}) и приложенную внешнюю нагрузку (P_{qi}), на удерживающую нормальную (N_H) и сдвигающую касательную (T_H) силы получим:

$$N_{H1} = (P_{g1} + P_{q1}) \cdot \cos(90 - \beta_1) \quad (2.24)$$

$$T_{H1} = (P_{g1} + P_{q1}) \cdot \sin(90 - \beta_1) \quad (2.25)$$

Для первого принятого центра вращения O_1 момент удерживающих сил (M_{sr1}) в оползневом массиве будет равен:

$$\begin{aligned}
M_{sr1} &= [(N_{H1} \cdot \operatorname{tg} \varphi_s) + (P_{\varepsilon s1} \cdot L_1)] \cdot R_1 = \\
&= \left\{ [(P_{g1} + P_{q1}) \cos(90 - \beta_1) \cdot \operatorname{tg} \varphi_s] + \left(c_0 + \frac{1}{2} \cdot \gamma^{sr} \cdot L_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_s \right) L_1 \right\} R_1 \quad (2.26)
\end{aligned}$$

а момент сдвигающих сил (M_{sa1}) будет равен:

$$M_{sa1} = T_{H1} \cdot R_1 = [(P_{g1} + P_{q1}) \cdot \sin(90 - \beta_1)] \cdot R_1 \quad (2.27)$$

Значение коэффициента устойчивости (k_{st1}) оползающего массива будет равно отношению моментов удерживающих (M_{sr1}) и сдвигающих (M_{sa1}) сил, которое после преобразований примет вид:

$$k_{st1} = \frac{M_{sr1}}{M_{sa1}} = \frac{[(P_{g1} + P_{q1}) \cdot \cos(90 - \beta_1) \cdot \operatorname{tg} \varphi_s] + \left(c_0 + \frac{1}{2} \cdot \gamma^{sr} \cdot L_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_s \right) \cdot L_1}{(P_{g1} + P_{q1}) \cdot \sin(90 - \beta_1)} \quad (2.28)$$

Устойчивость оползневого массива, будет обеспечена при значении коэффициента (k_{st}), удовлетворяющему условию $k_{st} \geq 1$.

При рассмотрении нескольких поверхностей вращения с центрами $O_1, O_2, O_3, \dots$, отстоящих друг от друга на расстоянии $\frac{1}{3}H$ от первоначально принятого центра вращения O_1 , наиболее опасной будет поверхность скольжения, имеющая минимальное значение k_{st}^{min} .

При условиях $k_{sti} \geq k_{st}^{min}$ устойчивость откоса относительно выбираемых центров вращения O_i будет обеспечена.

Численное решение устойчивости откоса выполнено программой MathCad для массива со следующими физическими показателями: 1-й слой – супесь: мощность слоя $h_1=3,00$ м, сцепление на поверхности земли $c_{01}=0,017$ МПа, угол внутреннего трения $\varphi_1=29^\circ$, плотность грунта $\gamma_1=17$ кН/м³; 2-й слой – суглинок: $h_2=2,50$ м, $c_{02}=0,037$ МПа, $\varphi_2=25^\circ$, $\gamma_2=18,2$ кН/м³; 3-й слой – $h_3=4,00$ м, $c_{03}=0,057$ МПа, $\varphi_3=21^\circ$, $\gamma_3=19,2$ кН/м³. Угол откоса к горизонту – $\alpha=60^\circ$; поверхности земли ниже и выше откоса – горизонтальные; к верхней поверхности откоса, приложена равномерно распределенная нагрузка $q = 200$ КПа.

Программа состоит из ряда отдельных подпрограмм-функций, в которых определяются численные значения, входящих в расчет параметров: координат x_i и z_i центров O_i круглоцилиндрических поверхностей скольжения в принятых осях x, z ; радиусы R_i ; координаты x_{Ci} точек C_i рассчитываемых поверхностей скольжения; центральные углы θ_i ; углы β_i , принимаемые между хордами AC рассчитываемых поверхностей скольжения и линией горизонта; длины дуг L рассчитываемых поверхностей скольжения (от точек C_i до точки A (рис. 2.23).

В программе по значениям найденных параметров вычисляются: собственный вес оползневого массива P_{gi} ; значения дополнительно приложенной к оползневому массиву вертикальной нагрузки P_{qi} и, соответственно, коэффициент устойчивости откоса k_{sti} . Причем, коэффициент устойчивости откоса, и все входящие в формулу параметры вычисляются последовательно для 5-ти точек, равностоящих друг от друга на расстоянии $0,3 \cdot H$ (м), а первая точка на расстоянии $0,4 \cdot H$ на прямой, проведенной под углом $(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_s}{2})$ к верхней горизонтальной поверхности откоса. В последующем, из полученных значений коэффициентов устойчивости рассчитываемых поверхностей скольжения определяется точка с наименьшим значением k_{st}^{min} .

Далее, для линии, перпендикулярной к начальной прямой, также для 5-ти точек повторяется расчет по определению k_{st}^{min} . Для уточнения значения k_{st}^{min} , получения более точных координат центра круглоцилиндрической

поверхности скольжения и других расчетных параметров, а также проверки численной сходимости результатов, процедура повторяется.

Результаты расчета при 6-ти итерационных процедурах показали следующее: координаты центра круглоцилиндрической поверхности скольжения $x=-11,95$ м, $z=-6,78$ м; его радиус $R=17,51$ м; координата точки С $x_c=4,20$ м; коэффициент устойчивости откоса $k_{st}=1,273$.

Выводы

1. При расчете устойчивости откоса, многослойный массив грунтов приводится к квазиоднородному со средневзвешенными значениями углов внутреннего трения (φ_s) и объемного веса (γ^{sr}) грунтов, составляющих массив.

2. Для квазиоднородного массива строится интегральный график предельного сопротивления сдвигу. При построении графика сопротивления сдвигу (сцепления) по глубине массива за величину удельного сцепления грунта (c_0) на верхней поверхности откоса принимается значение, соответствующее данным первого верхнего слоя. Значения сцепления грунтов по глубине массива будут увеличиваться под углом, равным средневзвешенному значению угла внутреннего трения (φ_s) квазиоднородного массива. Увеличивающееся значение сцепления (c_z) обусловлено увеличивающейся нагрузкой от собственного веса грунта (σ_{gz}) по глубине массива.

3. Величины моментов удерживающих (M_{sr1}) и сдвигающих (M_{sa1}) сил подсчитываются для всего квазиоднородного оползневого массива.

4. Учет изменяющихся значений сцепления грунта (c_z) по глубине массива приводит, в целом, к увеличению момента удерживающих сил (M_{sri}) и способствует повышению устойчивости всего оползневого массива.

Список использованных источников

1. Гольдштейн М.Н. Расчеты осадок и прочности оснований зданий и сооружений. / М.Н. Гольдштейн, С.Г. Кушнер, М.И. Шевченко. - Киев: Будивельник, 1977. - 208 с.
2. Негматов Т.А. К расчету фундаментных плит на случайно-неоднородном основании комбинированного типа / Т.А. Негматов, А.Д. Рахмонов // Вестник Таджикского технического университета. 2012. №1 (17). - Душанбе: ТТУ им. М.С. Осими, 2012. С. 84-86.
3. Рахманов А.А. Консолидация слабых водонасыщенных глинистых грунтов при изменяющейся во времени высоте массива // В сб. Политехнический вестник. Сер. Инженерные исследования, 2023. № 3 (63). - Душанбе: ТТУ им. М.С. Осими, 2023. - С. 154-161.
4. Тейлор Д. Основы механики грунтов. – Москва: Госстройиздат, 1960. - 598 с.
5. Терцаги К. Теория механики грунтов. - Москва: Госстройиздат, 1961. - 507 с.

6. Ухов С.Б. Механика грунтов, основания и фундаменты. / С.Б. Ухов, В.В. Семенов, В.В. Знаменский, З.Г. Тер-Мартirosян, С.Н. Чернышов. - Москва: Издательство АСВ, 1994. -527 с.
7. Харр М.Е. Основы теоретической механики грунтов. - Москва: Стройиздат, 1971. -320 с.
8. Цытович Н.А. Механика грунтов. - Москва: Госстройиздат, 1963. - 636 с.
9. Чеботарев Г.П. Механика грунтов, основания и земляные сооружения. - Москва: Стройиздат, 1968.- 616 с.

References

1. Goldstein M.N. Calculations of precipitation and strength of foundations of buildings and structures. / M.N. Goldstein, S.G. Kushner, M.I. Shevchenko. - Kiev: Budivelnik, 1977.- 208 p.
2. Negmatov T.A. On the calculation of foundation slabs on a randomly heterogeneous base of a combined type / T.A. Negmatov, A.D. Rakhmonov // Bulletin of the Tajik Technical University. 2012. No. 1 (17). - Dushanbe: M.S. TTU Oshimi, 2012. pp. 84-86.
3. Rakhmanov A.A. Consolidation of weak water-saturated clay soils with time-varying height of the massif // In the sat. Polytechnic Bulletin. Ser. Engineering research, 2023. № 3 (63). - Dushanbe: M.S. TTU Oshimi, 2023. pp. 154-161.
4. Taylor D. Fundamentals of soil mechanics. Moscow: Gosstroyizdat, 1960. - 598 p.
5. Tertsagi K. Theory of soil mechanics. - Moscow: Gosstroyizdat, 1961. - 507 p.
6. Ukhov S.B. Mechanics of soils, foundations and foundations. / S.B. Ukhov, V.V. Semenov, V.V. Znamensky, Z.G. Ter-Martirosyan, S.N. Chernyshov. Moscow: DIA Publishing House, 1994. - 527 p.
7. Harr M.E. Fundamentals of theoretical mechanics of soils. - Moscow: Stroyizdat, 1971. - 320 p.
8. Tsytovich N.A. Mechanics of soils. - Moscow: Gosstroyizdat, 1963. - 636 p.
9. Chebotarev G.P. Mechanics of soils, foundations and earth structures. - Moscow: Stroyizdat, 1968. - 616 p.

Глава 3 *ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ*

3.1 РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Центрально-Азиатский регион, включая Туркменистан, входит в число наиболее уязвимых к последствиям изменения климата территорий. Страны региона сталкиваются с экстремальными последствиями изменения климата и по прогнозам эти воздействия будут усиливаться. Ожидаемое сокращение стока рек на ближайшую перспективу вследствие изменения климата делает эту проблему ещё острее. Ожидается острый дефицит воды. Потепление климата станет дополнительным фактором риска развития гидрологических засух, негативно отражаясь на водных ресурсах страны. Вода-это основная среда, через которую изменения климата влияет на природу и общество. Согласно мировым прогнозам экспертов остановить глобальное потепление уже невозможно, но мир должен сделать усилие и сдержать его на уровне не выше 1,5°C по сравнению с доиндустриальной эпохой. Этого порога Земля может достигнуть уже в 2030 году. Если температура и дальше будет расти, Землю ожидают потери экосистем и катаклизмы планетарного масштаба. Засушливость и опустынивание оказывает негативное воздействие на продуктивность сельского хозяйства, снижение урожайности сельскохозяйственных культур. Это приведёт к уменьшению объёмов производства, потере плодородия сельскохозяйственных земель. Всё это происходит из-за эрозии, опустынивания, засоления, подтопления, загрязнения почв. В долгосрочной перспективе продовольственная безопасность зависит от успешной адаптации сельскохозяйственных систем к экстремальным климатическим и погодным явлениям.

По прогнозу изменения частоты опасных гидрометеорологических явлений ожидается, что частота этих явлений возрастет в 2-4 раза к середине XXI века. Глобальные климатические изменения очень сложны, поэтому современная наука не может дать однозначного ответа, что же нас ожидает в ближайшем будущем. Существует множество сценариев развития ситуации. По различным оценкам за последние сто лет средняя температура на нашей планете увеличилась на 0,5-1°C. В будущем эти процессы получают дальнейшее

продолжение и к концу XXI века средняя температура воздуха над поверхностью Земли может увеличиться от 1,1 до 5,8°C по сравнению с 1990 годом. Ледниковые запасы, являющиеся важнейшим источником и многолетним резервом чистой пресной воды, не являются стабильными.

Нехватка воды – общемировая проблема. Чистой воды не только просто мало, но распределена она по поверхности земли неравномерно. С ростом численности населения планеты и загрязнения окружающей среды все больше и больше воздух и вода становятся дефицитными. В нашей стране особое значение придаётся рациональному использованию водных ресурсов, как важнейшему фактору динамичного развития агропромышленного комплекса и других отраслей. Всегда существующая проблема нехватки воды для сельхозугодий являлся инженерной задачей, вопросом ирригации. В XX веке в Туркменистане построена система водного хозяйства (Каракум-река, водохранилища на нем, и другие), которая совершенствуется современными способами, такими как капельное и дождевальное орошение. Применяя достигнутые развитыми странами передовые технологии, возможно решение проблемы дефицита воды. Комплекс конкретных мер предусмотрен в целях дальнейшего технического переоснащения водной отрасли, безаварийный пропуск водных ресурсов через гидротехнические сооружения и каналы, для обеспечения эффективной эксплуатации. В условиях Туркменистана водообеспечение пользователей предусматривается путём сезонного использования водохранилищ.

Восполнение дефицита возможно за счет лучшего управления, совершенствования технологического уровня гидромелиоративных систем (облицовка каналов) и перевода сельского хозяйства на передовые водосберегающие технологии орошения.

Сложность создаёт и то, что реки и крупные водоёмы, как правило, трансграничные. Учитывая ограниченность водных ресурсов, а также, в связи с тем, что вода, притекает в Туркменистан с территории соседних государств, подчеркивается необходимость экономного и эффективного использования их для дальнейшего развития не только сельскохозяйственного производства, но и в целом народного хозяйства. Потепление климата станет дополнительным фактором риска развития гидрологической засухи и опустынивания, негативно отражаясь на водных ресурсах. Туркменистан ограничен водными ресурсами из-за своего расположения в пустынной зоне с резко континентальным климатом. С повышением температуры воздуха ухудшаются условия для формирования запасов снега в горах, происходит их сокращение и в некоторых зонах водосбора это находит свое отражение в убыли стока.

Одна из особенностей бассейна Амударьи – ограниченность водных ресурсов, а следовательно – ограниченность производимых продуктов питания и низкая устойчивость водных экосистем. Данное ограничение выражается в неравномерном распределении дефицита воды по территории, времени и имеет не одинаковые последствия для различных государств. Естественный дефицит воды усугубляется искусственным, вызываемым нерациональным регулированием стока. Воздействие наблюдаемого изменения климата на основные факторы формирования стока рек бассейна Амударьи признано более значительным, чем для бассейна Сырдарьи. Большинство моделей формирования стока, которые используют «мягкие» климатические сценарии, не предполагают заметного снижения стока основных рек бассейна Амударьи до 2030 года. Но уже к 2050 году возможно сокращение водных ресурсов бассейна Амударьи. Увеличатся отклонения годового стока от средних многолетних значений. Ожидается, что потепление вызовет во внутригодовом режиме рек сдвиги характерных дат половодья; пик половодья может быть перенесен на более ранние сроки.

Важнейшими составляющими дефицита водных ресурсов в Туркменистане являются:

- географическое положение страны и аридность её территории;
- наличие большого количества достаточно плодородных земель, пригодных к использованию, но не имеющих источника орошения;
- значительные потери воды на испарение и фильтрацию при подаче ее на большие расстояния (от оазиса к оазису);
- рост численности населения и необходимость, в связи с этим, увеличения производства сельскохозяйственной продукции на орошаемых землях;
- ограниченность стоков Амударьи и других водных источников по причине изменений климата.

Оценивая будущее изменение в условиях потепления и при сохранении современных норм осадков, можно предположить, что темпы его сокращения будут такими же, как в последние годы, с высокой региональной изменчивостью от 0.2 до 1% в год. Сокращение оледенения приведет к образованию многочисленных моренных озер, повысится вероятность образования прорывных паводков и усиления селевой активности от прорыва высокогорных озер.

Самый большой риск для социально-экономического благополучия страны несёт в себе засуха, появление которой обусловлено высокой температурой воздуха и дефицитом водных ресурсов. Стоит вопрос увеличения поливной нормы в засушливые годы. В настоящее время наблюдается заметная тенденция

увеличения периодичности маловодных лет главных рек Туркменистана – Амударьи и Мургаба.

Трансграничные аспекты. Водные ресурсы Туркменистана почти полностью (98%) формируются за счет трансграничных водотоков - Амударья, Мургаб, Теджен, Этрек и малые реки.

Водораспределение должно опираться на достаточно хорошо обоснованные данные о водных ресурсах рек и возможных их изменениях. Как всякая река в аридной зоне, Амударья характеризуется определенным непостоянством, как в годовом распределении стока, так и в его формировании. Хотя для реки характерно значительное ледниковое питание, что придает постоянство ее водонасыщенности в летние месяцы, совпадающей с пиком ирригационного потребления, тем не менее, снеговое питание и питание осадками создают достаточно большую неравномерность и неустойчивость стока. Сложность управления водохозяйственным комплексом Амударьи обуславливается тем, что управление объектами расположено на больших территориях четырех суверенных государств Центральной Азии и в большом удалении друг от друга. Под управлением водными ресурсами понимается процесс принятия решения и обеспечение реализации решения, разделённый на два этапа: планирование режима функционирования (которого хотят достигнуть) и реализация плана, обеспечивающего максимальное приближение плана к факту. На Амударью приходится 88% ресурсов всех поверхностных вод Туркменистана. С учетом водных ресурсов других рек, крупных родников и источников суммарный объем ресурсов поверхностных вод Туркменистана составляет около 25 км³. Протяженность Амударьи от слияния притоков Вахш и Пяндж до устья - 1409 км, 744 км из них приходится на территорию Туркменистана, и в его пределах ее среднегодовое (речной) сток составляет 56,57 км³/год (гидропост Керки). При водности Амударьи выше расчетной величины излишки воды должны в первую очередь аккумулироваться в водохранилищах и частично подаваться в низовья реки для улучшения санитарно-эпидемиологической обстановки в районах Приаралья и Аральского моря.

Туркменистан уделяет большое внимание проблемам экологии и устойчивому управлению водными ресурсами. Естественная гидрографическая сеть представлена крупными трансграничными реками Амударья, Мургаб, Теджен, Этрек, 20 малыми, стекающими с северных склонов Копетдага и большим количеством сухих логов. При этом величина поступающего в Туркменистан стока определяется не только природными факторами, но и в значительной степени хозяйственной деятельностью людей.

Большая часть стока рек Теджен и Этрек, часть стока Мургаба и малых рек Восточного Копетдага разбирается на орошение в сопредельных странах.

Туркменистан обладает значительными площадями достаточно плодородных земель пригодных к использованию, но удаленных от естественных источников орошения. В Туркменистане действует государственная программа мелиоративного улучшения земель. Одна из целей земельной мелиорации - охрана и рациональное использование водных ресурсов, применение передовых технологий и разработок развитых стран.

Для обеспечения эффективной эксплуатации и в целях дальнейшего технического переоснащения водной отрасли предусмотрен комплекс конкретных мер, в частности, безаварийный пропуск водных ресурсов через гидротехнические сооружения и каналы.

Стоит особо, отметить потери на испарение и на фильтрацию водных ресурсов при сборе в реках и водохранилищах больше одного или двух лет. В условиях Туркменистана предусматривается сезонное регулирование водохранилищ. Водопользование во всех отраслях должно основываться на водохозяйственных расчётах. На основе гидротехнических и гидравлических расчетов должны работать реки и гидротехнические сооружения в целях безаварийного пропуска воды (рисунок 3.1). Для непрерывной подачи воды, специалистами водного хозяйства Туркменистана регулярно проводятся наблюдения и обслуживание русловых процессов и целостности сооружений.

В наиболее засушливые годы уменьшение водозабора определяется решением Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии (МКВК), в которую входят министры водного хозяйства стран ЦАР.

Подтверждая свою приверженность и право на разумное и равноправное участие в использовании вод Амударьи, 16-го января 1996 года в г. Туркменабаде (Туркменистан) подписано двустороннее соглашение с Республикой Узбекистан «О сотрудничестве по водохозяйственным вопросам». В частности, главы двух государств подтвердили ранее согласованные принципы вододеления в створе гидрологического поста у г. Керки в равных долях (т.е. 50% на 50%).

Как правило, на очередной хозяйственный год сначала устанавливается предварительный объём водозабора из Амударьи для всех государств ЦАР. После завершения расчетов с учётом водности года он окончательно корректируется.

СХЕМА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

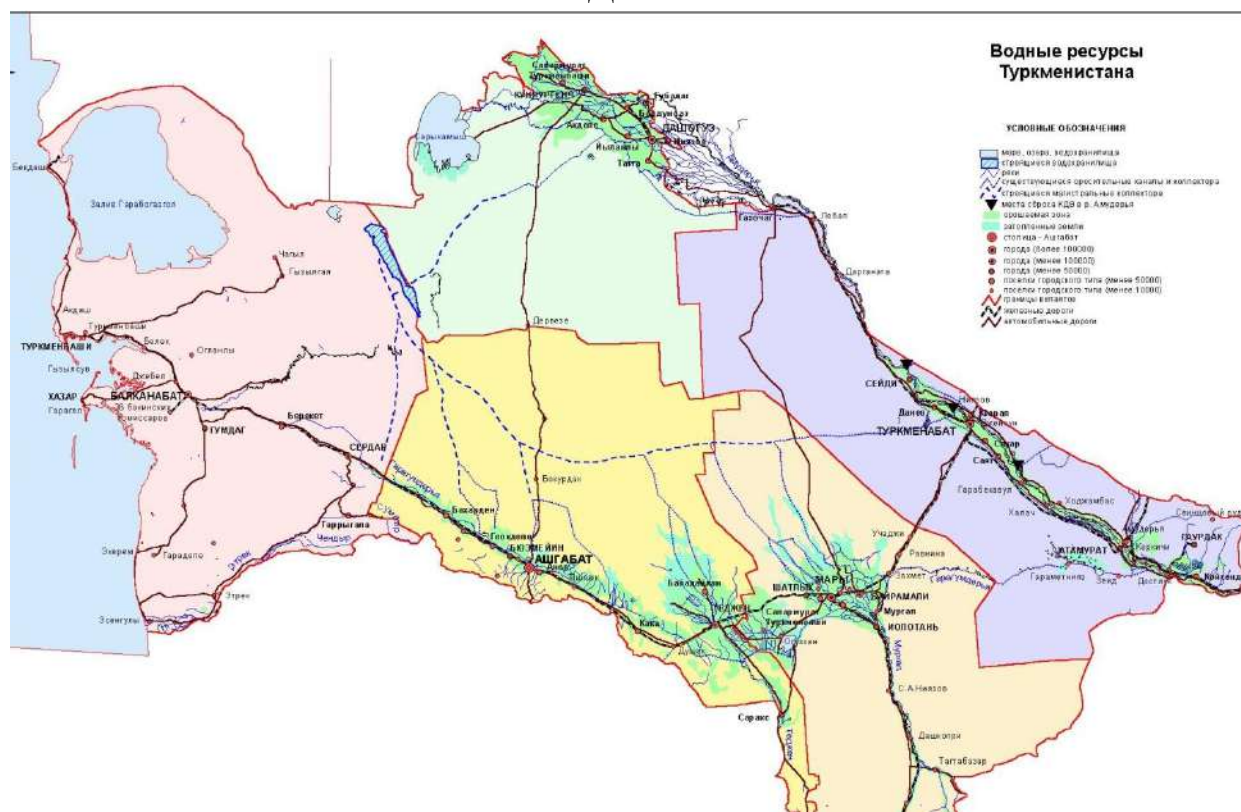


Рисунок 3.1 - Схема водных ресурсов Туркменистана

Сток Амударьи зарегулирован русловыми водохранилищами – Нурекским (Таджикистан) и Туямуюнским (Узбекистан). Часть стока сбрасывается в Аральское море.

Водность всех трансграничных рек, за исключением Амударьи, по данным многолетних наблюдений, значительно колеблется, так как на сопредельной территории они не зарегулированы. На Амударье действуют водохранилища многолетнего регулирования, поэтому её гидрограф несколько сглажен внутри хозяйственного года.

Вопросы регулирования стока трансграничных рек, строительства новых водозаборных сооружений, водопотребления, перераспределения лимитов водозабора внутри хозяйственного года должны решаться только на основе двусторонних или многосторонних договоренностей с сопредельными государствами, на территории которых находятся бассейны этих рек. Их согласованные действия позволят снизить антропогенную нагрузку на окружающую природную среду и эффективнее использовать имеющиеся поверхностные водные ресурсы.

Около 80% всей потребляемой воды в регионе идет на сельскохозяйственное орошение. Более 60% земель в той или иной степени подвержены деградации и опустыниванию.

Любой климатический шок – засуха, аномально теплая зима, смещение таяния снегов и т.д. – сразу превращается в аграрный, социальный и бюджетный шок. Рассматривать проблемы водно-климатического стресса необходимо на макроэкономическом, фискальном и социальном уровнях.

Решение водных проблем в Центральной Азии – одно из важнейших направлений в развитии государств региона. В рамках единого государства до 1991 г. в регионе была создана и действовала система распределения водных ресурсов. С экологической точки зрения система была далеко не оптимальной, что в конечном итоге ускорило наступление кризиса Аральского моря. Но в экономическом плане она справлялась с задачами. Попытки новых независимых государств реорганизовать систему и использовать ее в новых рыночных условиях не имели успеха. Поэтому стали создаваться новые способы регулирования проблемы в целом. Очевидно, что водная проблема – проблема мировая, поэтому и решение ее возможно только на разных уровнях политического управления.

Список использованных источников

1. Духовный В.А. Будущее бассейна Амударьи. – Ташкент: НИЦ МКВК Центральной Азии, 2018.
2. Валентини К.Л., Оролбаев Э.Э., Абылгазиева А.К. Водные проблемы Центральной Азии. – Б.: 2004. 142 с.
3. Болгов М.В., Трубецкова М.Д. Особенности формирования и оценка стока реки Амударьи в условиях неопределенности климатических изменений. / ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО, 2011. №1, - С. 63-67.

References

1. Dukhovny V.A. The future of the Amu Darya basin. - Tashkent: SIC ICWC of Central Asia, 2018.
2. Valentini K.L., Orolbaev E.E., Abylgazieva A.K. Water problems of Central Asia. – B.: 2004. - 142 p.
3. Bolgov M.V., Trubetskova M.D. Features of the formation and assessment of the flow of the Amu Darya River in conditions of uncertainty of climatic changes. / ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, 2011. No. 1, Pp. 63-67.

3.2 СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА УВЛАЖНЕННОСТИ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАЙОНОВ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Волгоградская область располагается на площади 11,3 млн га, из них 9,1 млн га относятся к землям сельскохозяйственного назначения (~81% от общей площади). Ввиду преобладания характерного для региона умеренно-

континентального климата вегетация сельскохозяйственных культур выпадает на период летних засух, что оказывает негативное влияние на урожайность растений. Для решения данных вызовов применяются гидромелиоративные мероприятия, позволяющие поддерживать заданный уровень увлажнения почвы. В разных районах области отмечаются различные активные суммы температур и атмосферных осадков в теплый период, знание которых позволяет рационально использовать природные ресурсы, обеспечивать устойчивость сельскохозяйственного производства с применением адаптированных агротехнологий [3, 4].

Для обоснования норм водопотребности и режима орошения сельскохозяйственных культур требуется комплексный подход по оценке тепло- и влагообеспеченности территории, отражающей степень увлажнения земель на период вегетации растений на основе метеорологических параметров. Расчет данного показателя строится на методе теплового и водного балансов, где учитываются сумма осадков и испаряемость, имеющие функциональную зависимость с иными составляющими баланса почв [6].

На практике для оценки природной тепло- и влагообеспеченности применяются известные отечественной науке и апробированные показатели Иванова Н.Н., Селянинова Г.Г., Будыко М.И., Шашко Д.И. (коэффициент увлажнения; гидротермический коэффициент; индекс сухости; показатель атмосферного увлажнения), а также зарубежные индексы: Педя, Пенмана-Монтейта, засухи Палмера, Торнтвейта [7].

В данной статье рассматривается оценка тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных районов Волгоградской области по методу Данильченко Н.В. (модифицированный коэффициент природного увлажнения Иванова Н.Н.), позволяющему произвести комплексную оценку природного увлажнения для обоснования норм водопотребности [1].

Цель работы заключается в проведении анализа тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных районов методом определения коэффициента увлажнения по данным метеорологических наблюдений для обоснования оросительных норм сельскохозяйственных культур в отдельных районах Волгоградской области.

Задачи - получение метеорологических параметров объектов исследования; расчет коэффициентов увлажнения и обеспеченностей с приведением коэффициента вариации и асимметрии.

Объекты исследования – территории Палласовского, Урюпинского, Иловлинского районов Волгоградской области. На рисунке 3.2 представлена картографическая схема расположения объектов в границах региона.

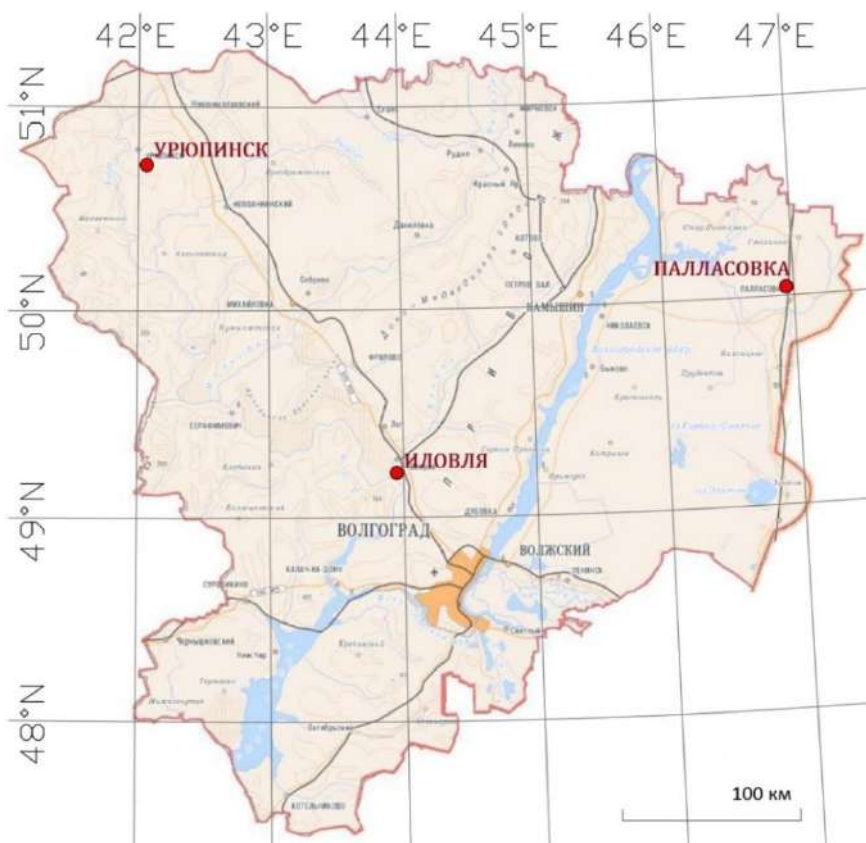


Рисунок 3.2 - Схема местоположения объектов исследования в границах Волгоградской области

Районы удалены друг от друга на расстояние $\sim 250...300$ км. В границах исследуемого региона Урюпинский район расположен в северо-западной части, Палласовский – в северо-восточной, Иловлинский – южнее центральной части региона, юго-восточнее относительно Урюпинского по направлению изменения климата (увеличению температур воздуха – с северо-запада на юго-восток) [2].

Исходная эмпирическая информация о метеорологических параметрах территорий была получена с трех метеорологических станций, расположенных в районах изучения: метеостанция г. Урюпинск (индекс ВМО – 34240; 50.7983° с. ш., 42.0617° в. д.); метеостанция г. Иловля (индекс ВМО – 34461; 49.3040° с. ш., 43.9819° в. д.); метеостанция г. Палласовка (индекс ВМО – 34373; 50.0497° с. ш., 46.8831° в. д.). Индекс ВМО определен по данным [10]. Климатические данные за теплый период (май – сентябрь) 1973-2023 гг. получены с официального портала ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» [11].

В работе проводится сравнительный анализ тепло- и влагообеспеченности земель сельскохозяйственных районов методом определения коэффициента увлажнения Данильченко Н.В. ($K_{уд}$), характеризующего теплоэнергетические ресурсы территории землепользования [1, 5]:

$$K_{uD} = \frac{(W_a + \sum P)}{E_0}$$

где: W_a – активные запасы влаги в метровом слое почвы на начало расчетного периода (мм);

$\sum P$ – сумма осадков (мм);

E_0 – испаряемость или потенциальная эвапотранспирация (мм) за период с температурой воздуха ≥ 5 °С;

Обеспеченность метеорологического показателя рассчитывается по формуле Чегодаева Н.Н. [8]. Для оценки изменчивости и асимметричности функции обеспеченности метеорологического показателя вычисляли значения коэффициентов вариации (C_v) и асимметрии (C_s) [9].

В Волгоградской области и, в частности, в Палласовском, Иловлинском и Урюпинском районах, одной из приоритетных отраслей производства является сельское хозяйство. Причем в Палласовском и Иловлинском районах превалирует направление животноводство (около 75%), а в Урюпинском – растениеводство (зерновые, масличные культуры, лекарственные травы, нут, рыжик). Эти районы в весенне-летний период часто подвержены негативным воздействиям климата – жаре, засухам, почвенной засухе, урагану, пыльным бурям [5], наносящим существенный вред агропроизводству. Для преодоления и смягчения их последствий, прогнозирования режима погоды первостепенным является оценка агроклиматического потенциала сельскохозяйственных земель.

Для достижения этой цели были произведены расчетные оценки увлажненности рассматриваемых районов и построены эмпирические кривые обеспеченности коэффициентов увлажнения за теплый период (май – сентябрь) 1973-2023 годы (рис. 3.3).

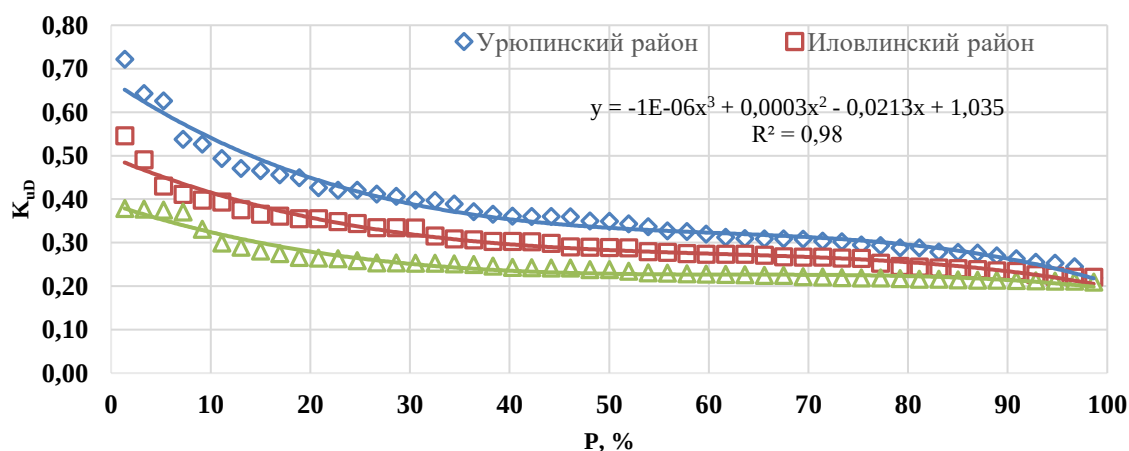


Рисунок 3.3 - Обеспеченность расчетного периода по коэффициенту природного увлажнения (май – сентябрь), 1973 – 2023 гг.

Анализ эмпирических кривых обеспеченностей приводит к следующим выводам (табл. 3.1): по всем районам имеет место однородная положительная асимметрия (> 0), причем для графиков $K_{UD}=f(x)$ асимметрия с оценкой $C_S=0,56$ (Урюпинск) значительна ($\geq 0,5$), $\sum P=f(x)$ асимметрия с оценками $C_S=0,63$ (Иловля), $C_S=0,64$ (Урюпинск), $C_S=0,88$ (Палласовка) также указывает на высокую значимость, а для $\sum T=f(x)$ – незначительная ($< 0,25$) и близка к нормальной $C_S=0,12...0,14$. Моделью кривые обеспеченностей коэффициентов увлажнения за рассматриваемый период соответствуют полиномиальной регрессии с коэффициентами детерминации $R^2=0,98$.

Таблица 3.1 - Оценка изменчивости, асимметрии метеорологического показателя и среднее

Наименование	Т, °С			Р, мм			K _{UD}		
	среднее	C _V	C _S	среднее	C _V	C _S	среднее	C _V	C _S
Иловля	2932	0,07	0,14	203	0,31	0,63	0,30	0,22	0,44
Урюпинск	2779	0,07	0,14	224	0,32	0,64	0,37	0,28	0,56
Палласовка	3264	0,06	0,12	127	0,44	0,88	0,25	0,17	0,35

Выводы. Результаты анализа тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных районов на основе метеорологических наблюдений за 1973–2023 годы (в пределах периода май–сентябрь) с применением кривых обеспеченностей показывают, в годы со средней (50%) и повышенной (75...80%) вероятностью засушливости коэффициент естественного увлажнения Данильченко Н.В. в Палласовке $K_{UD}=0,25$, Урюпинске $K_{UD}=0,35$, в Иловле $K_{UD}=0,30$, что свидетельствует о формировании климатической сухой степной зоны.

По данным статистической обработки распределение сумм среднесуточных температур воздуха характеризуется однородностью ($C_V < 33\%$) в трех районах и небольшим показателем изменчивости ($C_V < 10\%$), благодаря чему среднее значение показателя может служить надежной характеристикой выборки ($C_V = 6...7\%$). Статистические методы изучения атмосферных осадков по трем локальным объектам отличаются высокой переменчивостью: коэффициент вариации достигает 31...44%, что показывает неоднозначность совокупности и ограничивает возможность использования среднего значения как типичного. Такая нестабильность влагообеспеченности напрямую повышает риски при ведении сельского хозяйства.

Полученный по метеорологическим наблюдениям интегральный показатель увлажненности K_{UD} в итоге демонстрирует допустимую степень однородности $C_V = 17\%$ в Палласовском районе, $C_V = 28\%$ в Урюпинском районе,

в Иловлинском – $C_v=22\%$, что не превышает порога 33%. Средние показатели ΣT возрастают по направлению Урюпинск – Иловля – Палласовка ($2779^\circ\text{C} - 2932^\circ\text{C} - 3264^\circ\text{C}$) с обратно пропорциональной изменчивостью сумм атмосферных осадков (224 мм – 203 мм – 127 мм). В совокупности это подтверждает выраженную межгодовую изменчивость погодных условий вегетационного периода по трем исследуемым территориям, что при отсутствии соответствующих адаптационных мер при выращивании сельскохозяйственных культур может привести к существенным колебаниям урожайности при преобладающем засушливом климатическом режиме.

Список использованных источников

1. Данильченко, Н.В. Водосберегающие оросительные нормы и природоохранные режимы орошения зерновых и кормовых культур в Нижнем Поволжье: монография / Н.В. Данильченко. - М.: МГУП, 2006. - 150 с.
2. Доклад «О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2024 году» / Ред. колл.: Е.П. Православнова [и др.]; комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области. – Волгоград: «ТЕМПОРА», 2025. – 300 с.
3. Колганов, А.В. Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения в России: информ. издание / А.В. Колганов, Н.А. Сухой, В.Н. Шкура, В.Н. Щедрин, – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. – 220 с.
4. Леонтьева, Е.Е. Агроклиматические особенности сухостепной зоны светло-каштановых почв Городищенского района Волгоградской области / Е.Е. Леонтьева // Научно-агрономический журнал. - 2019. - № 2. - С. 9-14.
5. Новиков, А.Е. Актуальная оценка увлажненности земель Волгоградского пригородного сельскохозяйственного района / А.Е. Новиков, Н.В. Богомоллова, Р.В. Збукарев // Известия НВ АУК. - 2026. № 1(85). - С. 25-35. - DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-02.
6. Поддубский, А.А. Оценка природной влагообеспеченности Московской области / А.А. Поддубский // Вестник РУДН, серия Агрономия и животноводство. - 2015. - № 2. - С. 45-50.
7. Пугачёва, А.М. Особенности формирования засушливых явлений на субаридных территориях (на примере Волгоградской области) / А.М. Пугачёва, А.А. Васильченко // Научно-агрономический журнал. - 2025. - № 4(131). - С. 18-27. - DOI: 10.34736/FNC.2025.131.4.002.
8. Чегодаев, Н.Н. Расчет поверхностного стока с малых водосборов / Н.Н. Чегодаев. - М.: Трансжелдориздат, 1953. - 76 с.
9. Стефаненко, Ю.В. Методические указания к выполнению практических заданий и курсовой работы по курсу «Инженерная гидрология и регулирование стока» для студентов специальности С.04.02.00 «Мелиорация и водное хозяйство» / Ю.В. Стефаненко, А.А. Волчек [и др.]. - Брест: БГТУ, 2001. – 45 с.
10. Индекс ВМО. Режим доступа <https://wmo.int/>
11. ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных». Режим доступа <http://meteo.ru>

References

1. Danilchenko, N.V. Water-saving irrigation standards and environmental protection regimes for irrigation of grain and fodder crops in the Lower Volga region: a monograph / N.V. Danilchenko. Moscow: MGUP, 2006. - 150 p.
2. Report "On the state of the environment of the Volgograd region in 2024" / Ed. by E.P. Pravoslavnova [et al.]; Committee of Natural Resources, Forestry and Ecology of the Volgograd region. Volgograd: "TEMPORA", 2025. - 300 p.
3. Kolganov, A.V. Development of agricultural land reclamation in Russia: inform. edition / A.V. Kolganov, N.A. Sukhoi, V.N. Shkura, V.N. Shchedrin, Moscow: Rosinformagrotech, 2016, 220 p.
4. Leontieva, E.E. Agro-climatic features of the dry-steppe zone of light chestnut soils of the Gorodishchensk district of the Volgograd region / E.E. Leontieva // Scientific and agronomic journal. - 2019. - № 2. - pp. 9-14.
5. Novikov A.E., Bogomolova N.V., Zbukarev R.V. Actual assessment of the moisture content of the lands of the Volgograd suburban agricultural district // Izvestiya NV AUK. - 2026. № 1(85). - Pp. 25-35. - DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-02.
6. Poddubsky, A.A. Assessment of natural moisture supply in the Moscow region / A.A. Poddubsky // Bulletin of the RUDN University, series Agronomy and Animal husbandry. - 2015. - No. 2. - pp. 45-50.
7. Pugacheva, A.M. Features of the formation of arid phenomena in subarid territories (on the example of the Volgograd region) / A.M. Pugacheva, A.A. Vasilchenko // Scientific and Agronomic Journal. - 2025. - № 4(131). - Pp. 18-27. - DOI: 10.34736/FNC.2025.131.4002.
8. Chegodaev, N.N. Calculation of surface runoff from small catchments / N.N. Chegodaev, Moscow: Transzheldorizdat, 1953, 76 p.
9. Stefanenko, Yu.V. Methodological guidelines for the implementation of practical tasks and coursework in the course "Engineering hydrology and flow regulation" for students of specialty p.04.02.00 "Land reclamation and water management" / Yu.V. Stefanenko, A.A. Volchek [et al.]. Brest: BSTU, 2001. 45 p.
10. The WMO Index. Access mode <https://wmo.int/>
11. Federal State Budgetary Institution "All-Russian Scientific Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center". Access mode <http://meteo.ru>

3.3 УПРАВЛЕНИЕ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫМИ ПРИРОДНЫМИ ТЕРРИТОРИЯМИ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ НА ПРИМЕРЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «БРАСЛАВСКИЕ ОЗЕРА»

В числе факторов, оказавших наиболее существенное влияние на природу Беларуси, особое место принадлежит гидротехнической осушительной мелиорации, проведенной на большой площади республики. Основная цель гидромелиорации была в увеличении площади и улучшении земель, занятых сельскохозяйственными и лесными угодьями. Однако, использование гидротехнических сооружений и поддержание их функционирования в границах

особо охраняемых природных территорий является серьезной проблемой, связанной с кардинальными изменениями условий и задач землепользования.

Объектом исследований является национальный парк «Браславские озера» по постановлению Кабинета Министров Республики Беларусь №440 от 10 августа 1995 года в целях сохранения уникальных экосистем, а также эффективного и эколого-безопасного использования природных ресурсов. Национальный парк относится к наиболее важным особо охраняемым природным территориям страны и выполняет функцию ядра международного значения. В структуре земель, формирующих национальный парк «Браславские озера», преобладают природные экосистемы (более 93% или 62 тыс. га). Лесные экосистемы занимают 38,9 тыс. га или 58,05%, болотные экосистемы составляют 7,42%. На долю луговых сообществ, которые представлены сенокосами и пастбищами, приходится 6,24% территории парка. Водные экосистемы, которые представлены озерами, речными и мелиоративными экосистемами, занимают территорию 12,37 тыс. га (18,45%). Около трети земель парка занята экосистемами искусственного происхождения. В их числе лесные культуры, мелиоративные системы и улучшенные луга, сегетальные, селитебные экосистемы, дороги и экосистемы прочих земель.

Мелиорированный фонд в пределах территории национального парка «Браславские озера» составляет около 11,6% общей площади парка (рисунок 3.4). Мелиоративные работы были начаты в начале 20-го века и основной размах приобрели в 20–30 годы. Гидрографическая сеть подверглась большим гидромелиоративным преобразованиям, связанным со спрямлением и углублением русел рек, понижением уровня озер, прокладкой мелиоративных каналов. Несмотря на относительно небольшие объемы проведенных гидромелиоративных работ, значительная часть малых рек спрямлена, их русла канализованы, заболоченные сельскохозяйственные земли пройдены сетью мелиоративных каналов.

Выполненные мелиоративные работы отрицательно отразились на озерах - в результате мелиорации 1932–1933 гг. уровень воды в Браславской группе озер понизился на 1,8...2,0 м. Обнажившаяся литораль превратилась в заболоченную пойму. Последующее строительство плотины на реке Друйке подняло уровень воды на высоту около 1 м. В настоящее время уровень воды в Браславской группе озер находится ниже естественного уровня, отмечавшегося до проведения мелиорации 30-х годов.

Мелиорированные торфяно-болотные почвы в основном сосредоточены в южной части парка и тяготеют к водосборному бассейну оз. Дривяты.

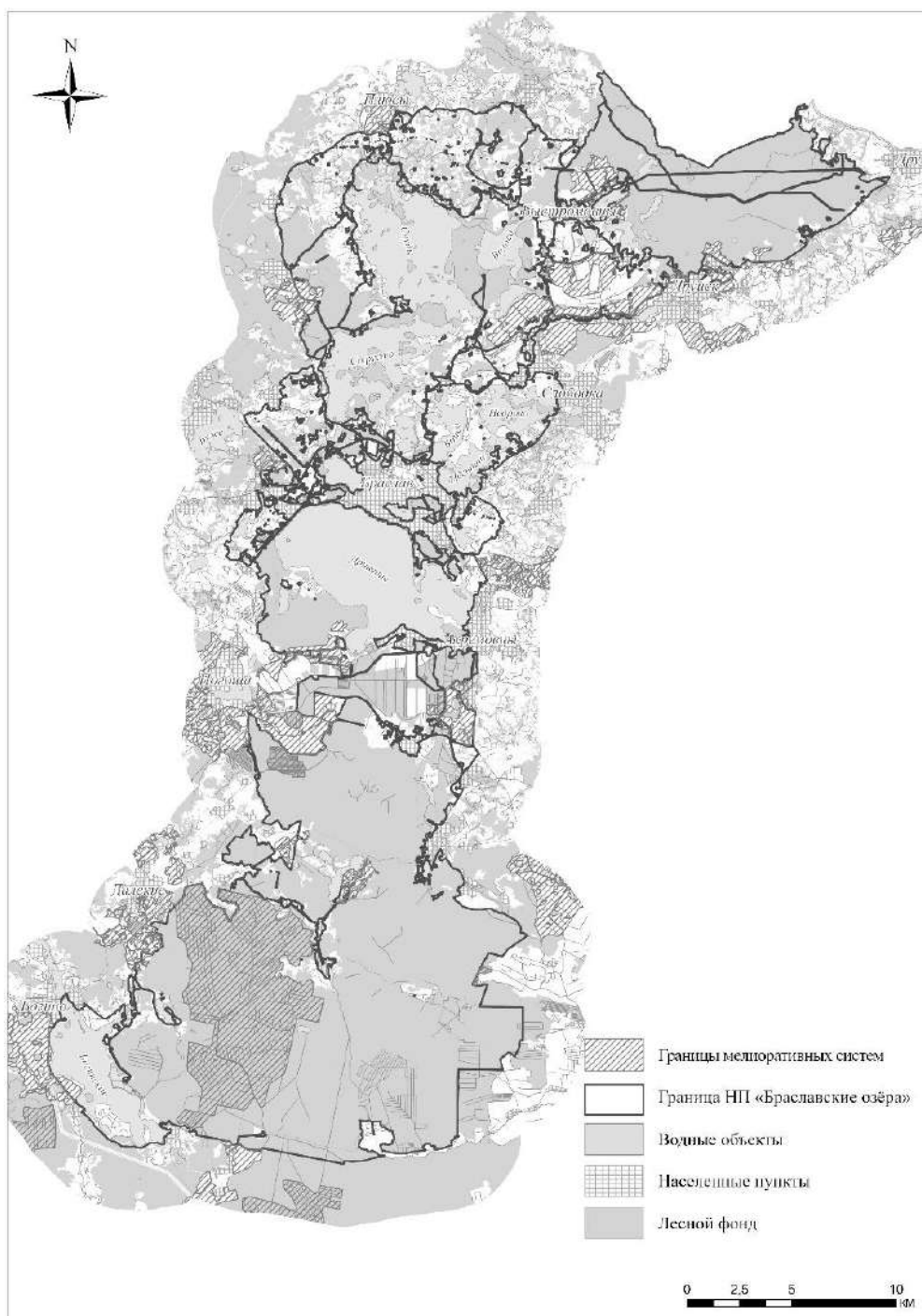


Рисунок 3.4 – Мелиоративная система национального парка «Браславские озера»

В осушенном земельном фонде используется открытая и закрытая дренажная сеть.

Проведенная лесная мелиорация привела к подсушению увлажненных и переувлажненных лесов, а также примыкающих к ним болот. В последнее десятилетие многие каналы были засыпаны, либо задамбированы. Однако ряд из них продолжает осуществлять свою осушительную функцию [4].

Согласно данным базового лесоустройства мелиоративные системы на территории национального парка на балансе отсутствуют. Однако при лесоустройстве было учтено 243,3 км осушительных каналов, из них требуют ремонта 2,7 км [2]. В лесном фонде национального парка заболоченные земли составляют 10506,5 га, из них 96,2% приходится на покрытые лесом земли. В структуре покрытых лесом земель болотные леса составляют 29,6%. Болотные леса относятся преимущественно к низинным типам, площадь которых составляет 7520,9 га.

Согласно действующему законодательству на территории национального парка гидромелиорация запрещена, допускается только поддержание в рабочем состоянии действующих мелиоративных систем и проведение работ по восстановлению нарушенных систем.

С момента объявления национального парка на его территории не проводилось работ по строительству новых гидромелиоративных систем, но работы по реконструкции старых ведутся постоянно на землях сельскохозяйственного использования.

Оценка состояния и разработка рекомендаций по дальнейшему использованию и поддержанию гидротехнических систем и мелиорированных территорий национального парка «Браславские озера» является одним из важных элементов разрабатываемого в 2025-2026 годах плана управления национальным парком. Планы управления особо охраняемыми природными территориями (далее – ООПТ) разрабатываются для определения эффективной стратегии и плана действий по охране и использованию уникальных ресурсов охраняемых природных территорий с учетом их существующего состояния, экологических проблем и угроз, социально-экономического развития региона в интересах устойчивого развития и сохранения природной ценности охраняемой территории на основании Закона Республики Беларусь от 15 ноября 2018 года № 150-З «Об особо охраняемых природных территориях».

Целью исследований является оценка воздействия осушительных систем на трансформацию растительного покрова в национальном парке для принятия решений в области эффективного управления существующей гидромелиоративной сетью.

Для оценки состояния и продуктивности растительного покрова национального парка «Браславские озера» был выполнен расчет индексов NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index).

NDVI – это наиболее распространённый спутниковый индекс. Он основан на соотношении отражательной способности в красном и ближнем

инфракрасном диапазоне, благодаря чему позволяет оценить плотность, состояние и активность фотосинтеза растительности. Высокие значения NDVI свидетельствуют о развитой листовой поверхности и высоком уровне биомассы, тогда как низкие значения отражают разреженную, стрессированную или отсутствующую растительность. Индекс широко применяется для мониторинга динамики лесов, лугов, агроландшафтов и восстановления деградированных экосистем.

MNDWI – индекс, разработанный для более точного выделения водных поверхностей и влажных субстратов, в особенности на территориях, где растительный покров, почвы и урбанизированные объекты могут искажать результаты традиционных водных индексов. Он использует комбинацию зелёного и средне-инфракрасного диапазонов, что усиливает контраст между водой и другими типами поверхности. Высокие значения MNDWI указывают на наличие открытой воды или сильно увлажнённых почв, тогда как низкие значения характерны для автоморфных участков, растительности и искусственных поверхностей. MNDWI применяется для оценки гидрологической динамики, состояния болотных комплексов, сезонного водного режима и выявления изменений в водно-болотных экосистемах.

Для расчета индексов NDVI и MNDWI использовались снимки Landsat облачной платформы Google Earth Engine. Были рассчитаны средние значения индексов за летние месяцы по периодам 2014–2019 и 2020–2024 гг., а также разница между ними.

По результатам проведенных работ установлена разность NDVI между периодами 2014–2019 и 2020–2024 гг., которая отражает изменение плотности, продуктивности и состояния растительного покрова на территории национального парка. Положительные значения разности (рост NDVI) указывают на увеличение биомассы и активное зарастание участков, что может быть связано с естественной сукцессией, накоплением древесно-кустарниковой растительности на ранее открытых территориях или ослаблением традиционного природопользования (сенокошение, пастбищное содержание скота). В лесных массивах рост NDVI свидетельствует о стабилизации древостоя, увеличении листовой массы или восстановлении после прошлых нарушений. Отрицательные значения NDVI, напротив, фиксируют деградацию или разрежение растительного покрова, которое может происходить вследствие понижения уровня грунтовых вод, усыхания лесов, вытаптывания рекреационными потоками или ухудшения гидрологического режима на болотах и поймах. Снижение NDVI также может сигнализировать о расширении открытых

водоёмов или переувлажнённых участков, где растительность вытесняется водой.

Значение вегетативного индекса NDVI за рассматриваемый период остается стабильным, однако можно выделить ряд участков разнонаправленной динамики. В северной части парка отмечается в целом положительная динамика изменения индекса NDVI, однако на отдельных участках отмечается его значительное снижение, что можно связать с активизацией процессов заболачивания.

Разность MNDWI между теми же периодами показывает изменения в площади и динамике водных поверхностей, заболоченных территорий и сильно увлажнённых субстратов. Повышение MNDWI указывает на расширение акваторий, увеличение глубины или площади мелководий, а также на усиление переувлажнения почв, что особенно характерно для болотных комплексов и пойменных территорий. Это может отражать восстановление гидрологического режима, повышение уровня воды или увеличение количества сезонных подтоплений. Снижение MNDWI интерпретируется как уменьшение влажности ландшафта, пересыхание болот, сокращение мелководных участков, деградация торфяников или зарастание водоёмов тростником и кустарником. В долгосрочной перспективе уменьшение MNDWI сигнализирует о потере водно-болотных экосистем, которые критически важны для охраны околосводной фауны, водоплавающих птиц и редких видов, связанных с открытыми заболоченными местообитаниями.

Динамика индексов в болотных массивах показывает центр-периферийную асимметрию – в центральных частях болот происходит ухудшение состояния растительности, периферия, наоборот, характеризуется активными процессами зарастания. Центральная часть парка характеризуется контрастной динамикой: от оз. Богдановского до участков торфоразработки Браславского торфобрикетного завода изменение индекса в целом отрицательное, сами же участки торфоразработки демонстрируют самый высокий прирост индекса NDVI по всей территории парка и сильную отрицательную корреляцию с индексом MNDVI, что свидетельствует о формировании более автоморфных условий почвообразования и активном росте растительности. Северная часть парка характеризуется значительной мозаичностью условий, что можно связать в первую очередь с антропогенными процессами и, в частности, – с сельскохозяйственным использованием земель. Снижение индекса NDVI в северо-восточной части парка в значительной степени коррелирует с изменением индекса MNDVI, говорит о снижении продуктивности растительности, и является тревожным признаком проявления

негативных процессов, требующих дальнейшего наблюдения и изучения, в первую очередь, в связи с изменением уровня грунтовых вод на хорошо дренируемых песчаных почвах.

Анализ полученных изменений индексов позволяет говорить о следующих проблемах использования мелиоративных систем в лесном фонде национального парка:

- отсутствие системы регулирования уровня воды на осушенных землях в границах лесного фонда;
- продолжающееся осушительное действие мелиоративных каналов на неэффективно осушенных лесных торфяниках;
- высокая пожарная опасность на торфяниках и сопредельных территориях;
- высокая численность бобра и последствия его жизнедеятельности, приводящие к нерегулируемому подтоплению сопредельных, в том числе суходольных территорий;
- зарастание открытых болот древесно-кустарниковой растительностью в результате прекращения их традиционного использования, эвтрофикации поверхностных вод, нарушения гидрологического режима.

В пределах национального парка проведены интенсивные работы по добыче торфа. При выработке торфа фрезерным способом происходит не только уничтожение естественных водно-болотных комплексов, но и из-за постоянной ветровой эрозии возрастает вероятность загрязнения органическими веществами близлежащих территорий, особенно водоемов. Помимо этого, происходит механическое загрязнение мелкими частичками торфяной крошки, что приводит к уменьшению биологического разнообразия непосредственно прилегающей к торфоразработкам территории.

Существенное воздействие на природные комплексы национального парка оказывает разработка месторождения торфа «Бельмонт». Добыча торфа на месторождении ведется фрезерным способом, что предполагает проведение на отработываемом месторождении осушительной мелиорации. Разработка месторождения приводит к изменению гидрологического режима на территории национального парка, так как проектными решениями величина эксплуатационного снижения уровня грунтовых вод на месторождении установлена равной 1,0 м.

Выводы. Для принятия решений по дальнейшей эксплуатации существующей гидромелиоративной сети национального парка «Браславские озера» необходимо детально оценить воздействие осушительных систем (в национальном парке и его охранной зоне) на трансформацию растительного

покрова на каждом конкретном участке и оценить экономические последствия принятия таких мер.

Что касается мелиорированных сельскохозяйственных земель, требуется проведение детальной оценки перспектив их использования, так как в настоящее время наблюдается выраженная тенденция к снижению их вовлеченности для интенсивного сельскохозяйственного использования и перевод их в земли запаса.

Учитывая, что уровень воды в Браславской группе озер стабилизировался, а экосистемы пришли в равновесное состояние, специальных мероприятий, направленных на регулирование уровней воды в озерах не требуется.

Как следствие мелиорации, может происходить трансформация лесоболотного комплекса в сторону более сухих типов леса. Осушение отдельных участков позволит повысить продуктивность лесов путем увеличения прироста у произрастающих насаждений. Реконструкция отдельных участков существующей гидромелиоративной сети необходима для устранения последствий деятельности бобров, которая способствует подтоплению части прилегающих насаждений. Подтопление в результате прекращения функционирования мелиоративной сети или деятельности бобров нанесет существенный экономический ущерб.

Так же возможны варианты, при которых реконструкция существующей гидромелиоративной сети не требуется по причинам:

- процесс формирования болотных, водно-болотных или лесоболотных экосистем уже происходит;
- болотные типы леса трансформировались в суходольные;
- каналы мелиоративных сетей пришли в полную непригодность;
- мелиоративные сети прилегают к сельскохозяйственным угодьям и отрегулировать уровень воды невозможно, не подтопив или не подсушив сопредельные территории;
- на объектах сети отмечены виды растений и животных, внесенные в Красную книгу Республики Беларусь.

Кроме того, необходимо оценить возможность выполнения экологической реабилитации для выработанных торфяных месторождений и нарушенных болот, если это будет иметь экологический и экономический эффект, что и предлагается в мероприятиях плана управления национальным парком [5].

Список использованных источников

1. База данных «Торфяники Беларуси» [Электронный ресурс] / Научно-практический центр по биоресурсам и Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси. Режим доступа: <https://peatlands.by/>. – Дата доступа: 24.02.2026.

2. Лесоустроительный проект государственного природоохранного учреждения «Национальный парк «Браславские озера» Управления делами Президента Республики Беларусь на 2019–2028 годы. – Минск: Белгослес, 2018. – 203 с.
3. Об установлении перечней болот и торфяников: Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 17.09.2020 № 18 [Электронный ресурс] // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. Режим доступа: <https://pravo.by>. – Дата доступа: 24.02.2026.
4. Разработка дополнений и внесение корректировок в План управления Национальным парком «Браславские озера»: отчет о НИР, кн. 1 – ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам»; координатор проекта В.В. Устин. – Минск, 2014. – 296 с.
5. Разработка научно обоснованного плана управления национальным парком «Браславские озера»: отчет о выполнении работ, кн. 1. Научное обоснование – Мин. обр. Республики Беларусь «Белор. гос. ун-т»; науч. руковод.: Л.Н. Гертман – Минск, 2025. – 296 с.
6. Экологическая оценка гидролесомелиоративных систем в лесном фонде Минского ГПЛХО и предложения по их дальнейшему использованию / А.В. Судник, С.С. Терещенко, И.М. Степанович, Р.М. Голушко, А.Ю. Комар // Растительность болот: современные проблемы классификации, картографирования, использования и охраны: материалы IV Междунар. науч. семинара (Минск – Витебск, 22–24 сент. 2021 г.) / Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Витеб. гос. ун-т; редкол.: Н.А. Зеленкевич [и др.]. – Минск, 2021. – с. 121–126.

References

1. Data base "Torfyaniki Belarussi" [Apostillectron Urga resource] / scientific and practical center of bioresursam and Institute of Natural Sciences National Academies of Science Belarussi. Access mode: <https://peatlands.by/>. - date of purchase: 24.02.2026.
2. Forestry and Forestry Project "National Park "Braslavskie ozero" government departments are appointed by the president of Belarus in 2019-2028. - Minsk: Belgosles, 2018. - 203 PP.
3. Resolution of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus dated 17.09.2020 No. 18 [Electronic resource] / / National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus. Access mode: <https://pravo.by>. - date of purchase: 24.02.2026.
4. Development and introduction of correctirovok in the plan of the management of the National Wawrabm parking lot "Braslavskie ozero": R & D report, VN. 1-GNPO "scientific and practical center of Nan Belarussian bioresursam"; project coordinatorV. Ustin. Minsk, 2014. - 296 PP.
5. Development of a scientifically based plan of management of national urgentm parking lot "Braslavskie ozero": report O in urgentpolnenie work, VN. 1. Scientific basis-Min. OBR. Republic Of Belarus "Belarus. Goss. UN-t"; learned. rukovod.: L.N. Gertman-Minsk, 2025. - 296 PP.
6. Urgellogic assessment hydrolesomeliorative Urgell system in lesnom Fonde Minsk GPLHO and offers on IHD.V. Sudnik, S.S. Tereshchenko, I.M. Stepanovich, R.M. Golushko, Huh.Yu. Komar / / Vegetation of swamps: modern problems of classification, mapping, execution and protection: proceedings of the IV International Conference. learned. seminar (Minsk-Vitebsk, 22-24 STs. Zelenkiewicz [et al.]. - Minsk, 2021. - S. 121–126.

3.4 АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Агроклиматология представляет собой научное направление, изучающее климатические и гидрометеорологические условия в их взаимосвязи с объектами и процессами сельскохозяйственного производства. Климат в данном случае рассматривается как важнейший природный фактор, определяющий условия формирования урожая и эффективность использования земельных ресурсов. Исследования в области агроклиматологии позволяют обосновать рациональное размещение сельскохозяйственных культур, оценить продуктивный потенциал территорий и разработать научные рекомендации по адаптации технологии агропроизводства к изменяющимся климатическим условиям.

Одним из основных инструментов изучения взаимодействия климата и сельского хозяйства является агроклиматический мониторинг. Он представляет собой систему наблюдений и аналитических методов, направленных на получение информации о состоянии климатических ресурсов территории и их влиянии на рост и развитие сельскохозяйственных культур. Результаты агроклиматического мониторинга используются при организации растениеводства, разработке мероприятий по мелиорации земель, а также при оценке рисков, связанных с неблагоприятными погодными условиями. [6, 7]

Агроклиматический мониторинг основывается на анализе комплекса показателей, характеризующих тепловые и влажностные условия территории, а также влажностный режим почвы и другие факторы, определяющие развитие растений. Эти показатели позволяют оценивать агроклиматические ресурсы региона и выявлять ограничения, связанные с дефицитом тепла или влаги.

Одной из важнейших групп показателей являются характеристики термического режима территории. Они отражают тепловое обеспечение сельскохозяйственных культур в течение вегетационного периода и включают такие параметры, как продолжительность периода активной вегетации, даты начала и окончания вегетационного сезона, а также средние температуры воздуха за этот период. Существенное значение имеет сумма активных температур воздуха выше определённых пороговых значений, например, выше 5, 10 или 15 °С. Эти показатели используются для оценки возможности заделывания конкретных культур и сортов, а также для определения периодов вегетации и формирования урожая.

Не менее важную роль играют показатели влажностного режима. Они характеризуют обеспеченность растений влагой и включают данные о сумме

атмосферных осадков за вегетационный период, величине испаряемости и фактического испарения, а также запасы продуктивной влаги в почве. Особое значение имеет оценка влагозапасов для растений на ранних периодах вегетации. В агроклиматических исследованиях широко используется гидротермический коэффициент Селянинова, который позволяет оценить соотношение тепла и влаги в течение вегетационного периода и классифицировать территории. Данный показатель определяется как отношение суммы осадков к сумме температур воздуха выше 10°C и является одним из основных индикаторов засушливости территории.

По гидротермическому коэффициенту увлажнения Селянинова выделяют несколько зон – от избыточного увлажнения до территорий, требующих искусственного орошения. Использование данного показателя позволяет выявлять регионы с повышенной вероятностью возникновения засушливых условий и оценивать степень риска для сельскохозяйственного производства. Кроме того, применение ГТК Селянинова совместно с величинами среднегодовых естественных и возобновляемых ресурсов поверхностных, запасов и восполнения запасов подземных вод, а также со степенью антропогенной нагрузки на водные ресурсы и потенциально доступными для временного изъятия ресурсами подземных вод позволяет проводить районирование территории по условиям использования водных ресурсов. [7]

Кроме гидротермического коэффициента применяются и другие показатели оценки засушливости и влагообеспеченности – коэффициент увлажнения Иванова-Мезенцева; индекс засушливости де Мартона (De Martonne aridity index); индекс засушливости Палмера (Palmer Drought Severity Index, PDSI); стандартизированный индекс осадков (Standardized Precipitation Index, SPI); стандартизированный индекс осадков и испаряемости (SPEI – Standardized Precipitation Evapotranspiration Index); индекс Будыко (радиационный индекс сухости). Они учитывают как атмосферные условия, так и состояние почвенной влаги и позволяют более комплексно оценить влияние климатических факторов на развитие сельскохозяйственных культур. [6, 8, 9]

Биоклиматический потенциал территории. Одним из интегральных показателей оценки агроклиматических условий является биоклиматический потенциал территории. Этот показатель характеризует совокупное влияние климатических факторов на биологическую продуктивность сельскохозяйственных культур и отражает природные возможности территории для ведения сельского хозяйства. Биоклиматический потенциал определяется на основе анализа теплообеспеченности, влагообеспеченности, световых ресурсов и других природных факторов.

Оценка биоклиматического потенциала включает анализ продолжительности вегетационного периода, суммы активных температур и обеспеченности осадками в различные фазы развития растений. Также учитывается вероятность неблагоприятных явлений, таких как засухи, суховеи, заморозки и другие экстремальные погодные процессы. На основе этих данных определяется степень благоприятности климатических условий для выращивания сельскохозяйственных культур.

В ряде методик оценка биоклиматического потенциала осуществляется на основе связи между суммой активных температур и показателями увлажнения территории. Такие методы позволяют определить потенциальную урожайность сельскохозяйственных культур при различных климатических условиях. При этом фактическая урожайность может существенно отличаться от потенциальной из-за ограничений, связанных с агротехникой, обеспеченностью влагой и другими факторами.

Научное планирование объемов производства сельскохозяйственной продукции, разработка мелиоративных и агротехнических мероприятий основываются на бонитировке и экономической оценке природных условий. Способы оценки эффективности затрат связаны с понятием оценки земли, а способы оценки природных условий – с понятием бонитировки климата, почвы и т.д. По методике Почвенного института им. В.В. Докучаева сравнительная оценка урожайности выражается в балльной системе на фоне примерно однородной агротехники. По Д.И. Шашко методика бонитировки климата основывается на том, что величина урожая сельскохозяйственных культур определяется комплексом физико-географических условий, уровнем агротехники и биологическими особенностями культуры. Влияние физико-географических факторов на урожай выражается через связь величины урожая и коэффициента годового атмосферного увлажнения M_d . В итоге биоклиматический потенциал по Д.И. Шашко равен произведению коэффициента роста по годовому показателю атмосферного увлажнения на отношение суммы температур воздуха за период со средней суточной температурой выше 10°C и суммы базисной температуры средних суточных температур воздуха, равной 1000°C для сравнения с продуктивностью на границе возможного земледелия. [3-5, 10]

Экстремальные климатические явления. В последние десятилетия всё большее внимание уделяется анализу экстремальных климатических явлений, оказывающих значительное влияние на устойчивость сельскохозяйственного производства. К таким явлениям относятся продолжительные засухи, тепловые волны, заморозки в период вегетации, а также интенсивные осадки и другие

опасные метеорологические процессы. Изменение климата приводит к увеличению частоты и интенсивности подобных явлений, что повышает риски для сельского хозяйства.

Для анализа экстремальных климатических процессов широко используются специальные климатические индексы. В международной практике наибольшее распространение получили индексы, разработанные экспертной группой ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices). Данные индексы предназначены для количественной оценки экстремальных температурных и осадочных событий на основе анализа суточных значений температуры и осадков. В дальнейшем развитие системы индексов было продолжено в рамках деятельности группы ET-SCI (Expert Team on Sector-specific Climate Indices), целью которой является разработка климатических индикаторов для прикладных отраслей, включая сельское хозяйство, водные ресурсы и энергетику. Индексы экстремальных климатических явлений широко используются в исследованиях изменения климата, в том числе в проектах Всемирной метеорологической организации (WMO) и Всемирной программы исследования климата (WCRP), и применяются для мониторинга климатических изменений и оценки частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений. В агроклиматических исследованиях такие индексы используются для оценки климатических рисков, связанных с засухами, тепловыми волнами, заморозками и экстремальными осадками, влияющими на продуктивность сельскохозяйственных культур.

Совместное использование этих показателей позволяет проводить комплексную оценку экстремальности климата и выявлять тенденции его изменения. [1, 2]

Оценка климатического риска. Анализ климатических условий сельскохозяйственного производства тесно связан с оценкой климатических рисков. Климатический риск определяется как результат взаимодействия опасного природного явления и уязвимости сельскохозяйственной системы к его воздействию. Потенциальный ущерб урожаю формируется за счёт взаимодействия двух факторов: вероятности наступления экстремальных природных явлений и степени чувствительности агроэкосистемы к подобным воздействиям.

Уровень уязвимости территории зависит от множества факторов, включая природно-климатические условия, состояние почв, уровень агротехнологий и обеспеченность водными ресурсами. Одним из подходов к оценке уязвимости является сопоставление фактической урожайности сельскохозяйственных культур с биоклиматическим потенциалом территории. Чем больше разница

между этими показателями, тем выше уязвимость сельскохозяйственного производства к неблагоприятным погодным условиям.

Выводы. Агроклиматический мониторинг играет важную роль в обеспечении устойчивого развития сельского хозяйства и рационального использования природных ресурсов. Анализ агроклиматических показателей позволяет оценивать условия выращивания сельскохозяйственных культур, выявлять климатические ограничения и прогнозировать возможные риски для агропроизводства.

Комплексное использование показателей тепло- и влагообеспеченности, биоклиматического потенциала и индексов экстремальных климатических явлений позволяет получить более полное представление о состоянии климатических ресурсов территории. Это создаёт научную основу для разработки адаптационных мероприятий в сельском хозяйстве и повышения устойчивости агроэкосистем в условиях изменяющегося климата.

Список использованных источников

1. Climate change indices [Электронный ресурс] / ETCCDI. – URL: https://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml (дата обращения: 21.01.2026).
2. Climate change indices [Электронный ресурс] / Met Éireann. – URL: <https://www.met.ie/index.php/climate/climate-change-indices-etccdi> (дата обращения: 21.01.2026).
3. Авдеев, С. М. Комплексная оценка биоклиматического потенциала территории Пермского края / С. М. Авдеев, Т. Н. Бурцева // Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». – Москва, ИКИ РАН, 2019.
4. Гордеев, А. В. Биоклиматический потенциал: меры адаптации в условиях изменяющегося климата / А. В. Гордеев, А. Д. Клещенко, Б. А. Черняков, О. Д. Сиротенко, В. Н. Темников, И. Б. Усков, В. А. Романенков, Д. И. Рухович. – Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, ВНИИ сельскохозяйственной метеорологии Росгидромета, Институт США и Канады Российской академии наук, ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова РАСХН, Почвенный институт им. В. В. Докучаева РАСХН, Агрофизический институт РАСХН, 2008. – 278 с.
5. Гордеев, А. В. Биоклиматический потенциал: методы мониторинга в условиях изменяющегося климата / А. В. Гордеев, А. Д. Клещенко, Б. А. Черняков, О. Д. Сиротенко, В. Н. Темников, И. Б. Усков, Е. К. Зоидзе, В. А. Романенков, Д. И. Рухович. – Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, ВНИИ сельскохозяйственной метеорологии Росгидромета, Институт США и Канады Российской академии наук, ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова РАСХН, Почвенный институт им. В. В. Докучаева РАСХН, Агрофизический институт РАСХН, 2007. – 323 с.
6. Грингоф, И. Г. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Т. III Часть 1. Основы агроклиматологии. Часть 2. Влияние изменений климата на экосистемы, агроферу

и сельскохозяйственное производство. / И. Г. Грингоф, В. Н. Павлова. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2013. – 384 с.

7. Исаева, С. Д. Принципы районирования Юга Европейской части РФ по условиям использования водных ресурсов при экосистемном водопользовании в АПК / С. Д. Исаева, Э.Б. Дедова // Оптимизация сельскохозяйственного землепользования и усиление экспортного потенциала АПК РФ на основе конвергентных технологий : материалы Международной научно-практической конференции, проведенной в рамках Международного научно-практического форума, посвященного 75-летию Победы в Великой отечественной войне 1941-1945 гг., Волгоград, 29–31 января 2020 года. Том 3. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2020. – С. 69–73. – EDN XYMOXF.

8. Мищенко, З. А. Агроклиматология / З. А. Мищенко. – Одесса: Астропринт, 2006. – 540 с.

9. Синицина, Н. Н. Агроклиматология / Н. Н. Синицина, И. А. Гольцберг, Э.А. Струнников. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1973. – 342 с.

10. Шашко, Д. И. Агроклиматическое районирование СССР / Д. А. Шашко. – М., изд-во «Колос», 1967. – 335 с.

References

1. Climate change indices [Electronic resource] / ETCCDI. – URL: https://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml (accessed: 01/21/2026).

2. Climate change indices [Electronic resource] / Met Éireann. – URL: <https://www.met.ie/index.php/climate/climate-change-indices-etccdi> (accessed: 01/21/2026).

3. Avdeev, S. M. Comprehensive assessment of the bioclimatic potential of the Perm Territory / S.M. Avdeev, T. N. Burtseva // Proceedings of the 17th All-Russian Open Conference "Modern problems of remote sensing of the Earth from space". – Moscow, IKI RAS, 2019.

4. Gordeev, A.V. Bioclimatic potential: adaptation measures in a changing climate / A.V. Gordeev, A.D. Kleschenko, B. A. Chernyakov, O. D. Sirotenko, V. N. Temnikov, I. B. Uskov, V.A. Romanenkov, D. I. Rukhovich. – Ministry of Agriculture of the Russian Federation, All-Russian Research Institute of Agricultural Meteorology of the Russian Hydrometeorological Institute, Institute of the USA and Canada of the Russian Academy of Sciences, D.N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry, V. V. Dokuchaev Soil Institute of the Russian Academy of Sciences, Agrophysical Institute of the Russian Academy of Sciences, 2008. - 278 p.

5. Gordeev, A.V. Bioclimatic potential: monitoring methods in a changing climate / A.V. Gordeev, A.D. Kleshchenko, B. A. Chernyakov, O. D. Sirotenko, V. N. Temnikov, I. B. Uskov, E.K. Zoidze, V. A. Romanenkov, D. I. Rukhovicha. – Ministry of Agriculture of the Russian Federation, All-Russian Research Institute of Agricultural Meteorology of the Russian Hydrometeorological Institute, Institute of the USA and Canada of the Russian Academy of Sciences, D.N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry, V. V. Dokuchaev Soil Institute of the Russian Academy of Sciences, Agrophysical Institute of the Russian Academy of Sciences, 2007. - 323 p.

6. Gringof, I. G. Fundamentals of agricultural meteorology. Vol. III Part 1. Fundamentals of agroclimatology. Part 2. The impact of climate change on ecosystems, the agricultural sphere and agricultural production. / I. G. Gringof, V. N. Pavlova. Obninsk: VNIIGMI-MCD, 2013, - 384 p.

7. Isaeva, S. D. Principles of zoning of the South of the European part of the Russian Federation in terms of the use of water resources in ecosystem water use in agriculture / S.D. Isaeva, E.B. Dedova // Optimization of agricultural land use and strengthening the export potential of the agro-industrial complex of the Russian Federation based on convergent technologies : proceedings of an International

scientific and practical conference held within the framework of the International Scientific and Practical Forum dedicated to the 75th anniversary of Victory in the Great Patriotic War of 1941-1945, Volgograd, January 29-31, 2020. Volume 3. Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2020, - pp. 69-73. EDN XYMOXF.

8. Mishchenko, Z. A. Agroklimatology / Z. A. Mishchenko. Odessa: Astroprint, 2006. - 540 p.

9. Sinitsina, N. N. Agro-climatology / N. N. Sinitsina, I. A. Goltsberg, E.A. Strunnikov. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973. - 342 p.

10. Shashko, D. I. Agro-climatic zoning of the USSR / D. A. Shashko, Moscow, Kolos Publishing House, 1967, - 335 p.

3.5 МАЛООБЪЁМНЫЕ СПОСОБЫ ОРОШЕНИЯ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ОАЗИСНОГО ТИПА

В условиях усиления засушливости климата рациональное использование водных и земельных ресурсов приобретает все большую актуальность и является одним из ключевых факторов устойчивого развития сельского хозяйства. Возрастающий дефицит воды и высокая солнечная радиация в аридных зонах представляют собой естественные ограничения для интенсификации сельскохозяйственного производства, что обуславливает необходимость перехода на оазисное землепользование [4-6].

Применение оросительных систем оазисного типа с внедрением водосберегающих технологий орошения и фертигации, подбора засухоустойчивых культур, использование биологических приемов мелиорации позволит обеспечить не только сохранение природно-ресурсного потенциала агроландшафтов, но и поддержание их экологического равновесия. При этом основными принципами оазисного землепользования, прежде всего наряду с рациональным использованием водных ресурсов для нужд агропромышленного комплекса, являются и многофункциональность (рекреация, сохранение биоразнообразия), устойчивость экосистемы и интеграция традиционного ведения хозяйства (векового опыта и знаний) и инноваций [2, 4, 6].

Характерными особенностями ирригационных систем очагового типа являются:

- локальность размещения - системы охватывают ограниченные участки, где благодаря наличию воды возможно земледелие;
- многоцелевое использование водных ресурсов - орошение сельскохозяйственных культур, водоснабжение населения и животноводства, рекреационное использование, обводнение пастбищ;
- сочетание разных блоков и методов орошения - регулярное орошение, лиманное орошение, фитомелиорация, водооборотные схемы;

- разнообразие источников воды - поверхностные, подземные, коллекторно-дренажные, опреснённые морские, дождевые и талые;
- высокая водосберегающая эффективность - минимизация потерь на фильтрацию и испарение, применение малообъёмных технологий, автоматизация и дистанционное управление водораспределением.
- специфические почвенно-климатические условия - засоленные почвы, высокая температура и низкая влажность воздуха, сильные ветры и пыльные бури, риск водной и ветровой эрозии;
- ограниченность ресурсов и высокая ценность каждого участка - максимальной продуктивности земель, точное дозирование воды и удобрений, выращивания высокодоходных культур;
- экологическая уязвимость – это хрупкие экосистемы, где нарушение водного режима может привести к вторичному засолению почв, опустыниванию, сокращению биоразнообразия.

Малообъёмные системы орошения (МОС) представляют собой инновационный подход к снабжению растений водой, отличающийся от традиционных методов своей высокой эффективностью. В основе МОС лежит принцип дозированной подачи воды непосредственно к корневой системе растений. Такая локализация подачи влаги минимизирует потери воды на испарение и поверхностный сток, что существенно повышает коэффициент использования воды в сельском хозяйстве. Поливные нормы при использовании МОС составляют 20...100 м³/га, что значительно ниже, чем при традиционных способах орошения, таких как поверхностный полив, нормы которого могут достигать 800...1500 м³/га на один полив [1,3,5,7].

К инновационным малообъёмным технологиям полива относятся: капельное орошение, внутрипочвенное орошение, мелкодисперсное импульсное дождевание, подкоровое орошение, комбинированное орошение. Принципы работы, преимущества, условия применения и ограничения приведены в таблице 3.2.

К основным преимуществам МОС относятся:

- экономия воды - дозированная подача воды непосредственно к корням растений сокращает потери влаги на 30...50%;
- повышение КПД систем до 0,8...0,95 против 0,5...0,6 у традиционных систем;
- повышение урожайности - обеспечение растений оптимальным количеством влаги способствует улучшению роста и развития, а также повышает качество и количество продукции на 25...30%;

Таблица 3.2 – Виды и условия применения малообъёмных способов орошения

Принцип работы	Ключевые параметры	Преимущества	Применение	Ограничения
1	2	3	4	5
Капельное орошение				
вода подаётся непосредственно к корневой зоне через капельницы (эмиттеры), подключённые к распределительным трубкам или лентам	- интенсивность подачи - менее 0,1 мм/мин; - поливная норма - 20–100 м³/га; - рабочее давление в системе - 0,5–1,5 атм.	- экономия воды на 25–30% по сравнению с дождеванием; - повышение урожайности овощных культур и картофеля на 20–27%; - отсутствие водной эрозии; - снижение затрат энергии на 10% относительно дождевания и до 50% относительно поверхностного полива; - возможность <u>фертигации</u>; - автоматизация процесса полива	сады, виноградники, овощные культуры, ягодники, теплицы, участки со сложным рельефом	требует качественной фильтрации воды, подвержено засорению капельниц, чувствительно к заморозкам
Внутрипочвенное орошение				
вода поступает в активный слой почвы (20–60 см) по дренам или перфорированным трубам, заложенным под землёй	- глубина укладки труб - 30–60 см; - расстояние между линиями - 0,7–2,0 м; - непрерывная или периодическая подача воды	- минимизация потерь на испарение (на 20–30% меньше, чем при дождевании); - поддержание оптимальной влажности корнеобитаемого слоя (70–85% НВ); - отсутствие поверхностного стока и водной эрозии; - сохранение структуры почвы; - возможность полива в ветреную погоду без потерь	многолетние насаждения (сады, виноградники), участки с высоким риском эрозии, склоновые земли, зоны с дефицитом воды	высокая стоимость монтажа, сложность диагностики утечек, риск засорения пор труб
Мелкодисперсное импульсное дождевание (аэрозольное орошение)				
распыление воды в виде тумана (капли 80–200 мкм) с низкой интенсивностью через специальные форсунки	- размер капель - 80–200 мкм; - интенсивность дождя - 0,05–0,1 мм/мин; - частота импульсов - каждые 5–30 минут	- снижение температуры воздуха и почвы на 3–5°C; - улучшение микроклимата (повышение влажности воздуха на 15–25%); - снижение оросительных норм на 30–40%; - предотвращение поверхностного стока; - защита от заморозков (при ночном применении)	овощные и ягодные культуры, питомники, рассада, теплицы, культуры, чувствительные к перегреву	чувствительность к ветру, требует высокого давления, риск грибковых заболеваний при избыточном увлажнении листьев

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5
Подкормочное орошение				
подача воды под кроной деревьев или кустов через наземные или заглублённые <u>микроспринклеры</u>	- радиус действия - 1–3 м; - расход воды - 10–50 л/час на один спринклер; - локализация полива - в приствольной зоне	- эффективное использование воды (экономия до 40%); - снижение риска грибковых инфекций (листья остаются сухими); - уменьшение роста сорняков междурядий; - совместимость с мульчированием	плодовые сады, ягодники (малина, смородина), ореховые плантации, цитрусовые культуры	неравномерность увлажнения при неправильной расстановке спринклеров, необходимость защиты от механических повреждений
Комбинированное орошение				
сочетает разные методы в зависимости от фазы роста растений и погодных условий. Например: На ранних стадиях - мелкодисперсное дождевание для создания влажного микроклимата; в период плодоношения - капельное орошение для точной подачи воды к корням; при жаре – кратковременное аэрозольное орошение для охлаждения	- автоматизированное управление режимами; - датчики влажности и почвы - микроклимата; - программируемые сценарии полива	- гибкость и адаптивность к изменяющимся условиям; - высокая эффективность использования воды (экономия до 50%); - оптимизация водного режима на всех этапах вегетации; - снижение стресса для растений	интенсивные сады, теплицы, высокотехнологичные агрокомплексы, культуры с чётко выраженными фазами роста (томаты, огурцы, арбузы)	высокая стоимость оборудования и обслуживания, необходимость квалифицированного персонала

- возможность возделывания культур на ранее непригодных участках (склоны, засоленные почвы);
- уменьшение эрозии почвы - точечная подача воды минимизирует воздействие на почву, что предотвращает ее эрозию и сохраняет плодородие;
- сокращение затрат на труд - автоматизация систем орошения минимизирует необходимость ручного труда;
- сокращение энергозатрат на 10...50% за счёт точного дозирования воды, позволяющего избежать переполива и тем самым снижая потребление энергии на подачу избыточных объемов;
- окупаемость инвестиций за сравнительно небольшой срок – 3...5 лет за счёт роста урожайности и экономии ресурсов.

Эффективность капельного орошения подтверждается многочисленными исследованиями. Одним из водоемких регионов относится Республика Калмыкия, характеризующаяся коэффициентом аридности от 0,11 до 0,30, засоленными почвами и подверженностью дефляции.

В ходе многолетних исследований ФНЦ ВНИИГиМ разработаны технологии возделывания овощных и бахчевых культур при капельном способе полива [1, 3-7]. При этом за счет использования технологии фертигации на системах капельного орошения достигается эффективное использование удобрений.

В полевом эксперименте для получения урожайности плодов томатов 50 т/га в почву было внесено минеральных удобрений в дозе $N_{140}P_{80}$ кг/га д.в., при этом использовался оптимизационный водный режим, дифференцированный по основным межфазным периодам развития растений:

- 70% НВ – в период «посадка - начало цветения»,
- 80% НВ – в период «цветение – начало плодообразования»,
- 70% НВ – до полной спелости плодов.

Поддержание дифференцированного режима орошения потребовало проведение 24...35 вегетационных поливов нормами 90...200 м³/га. Средняя оросительная норма составила 4100 м³/га, а коэффициент водопотребления – 84,0 м³/т.

Экспериментальные исследования показали, что еще более высокий урожай томатов (до 70 т/га и выше) можно получить при комбинировании капельного орошения с технологией мелкодисперсного дождевания [6]. Данная технология предполагает дополнительное распыление воды в жаркие дни (температура воздуха выше 30°C) с цикличностью каждые полтора часа в период с 10 ч утра до 18 ч вечера. Суточная норма распыления составляет 7,2 м³/га (поливная норма - 1,2 м³/га). Общая оросительная норма составляет 700 м³/га.

Комбинирование капельного и аэрозольного орошения создает оптимальные режимы увлажнения корнеобитаемого слоя почвы и микроклимата в надземной части растений. При этом коэффициент водопотребления снижается до 66,6 м³/т. Следует отметить, что применение капельного орошения с аэрозольным дополнением является перспективным методом для повышения урожайности томатов в условиях аридной Калмыкии.

Результаты полевого эксперимента по выращиванию столового арбуза для получения урожайности плодов 50...60 т/га показали, что для получения заданной урожайности потребовалось внесение азотно-фосфорных удобрений в дозе N₁₅₀P₈₀. При этом для оптимизации водного режима использовался дифференцированный по основным межфазным периодам развития растений поливной режим:

- 70...75% НВ - в расчетном слое почвы 0,2 м в период «посев - образование 5-6 листьев»,
- 70...75% НВ - в расчетном слое почвы 0,4 м в период «5-6 листьев - плетеобразование»,
- 80...85% НВ - в расчетном слое почвы 0,5 м в период «цветение - плодообразование»,
- 75...80% НВ - в период «созревание».

В течение вегетации потребовалось 21...35 поливов, нормами от 21 до 168 м³/га. Оросительные нормы в зависимости от влагообеспеченности года варьируют от 2142 до 3423 м³/га. При этом коэффициент водопотребления арбуза в среднем составляет 79,3 м³/т. В полевых опытах было установлено, что снижение уровня предполивной влажности почвы до 70-80-70% НВ приводит к снижению продуктивности на 19,5...29,1% [1, 3].

Таким образом, для получения высоких урожаев плодов овощных и бахчевых культур при капельном орошении необходимо не только обеспечить достаточное количество воды, но и учитывать фазы развития растений и оптимальные уровни влажности почвы.

Выводы. Малообъёмные способы орошения – перспективное направление для оросительных систем оазисного типа. Они позволяют эффективно использовать ограниченные водные ресурсы, повышать урожайность и сохранять экологическую устойчивость агроландшафтов в засушливых регионах. Развитие малообъёмного орошения – важный шаг к устойчивому сельскому хозяйству в условиях растущего дефицита воды. В перспективе это направление может:

- стать основой для создания «умных» агросистем с полной автоматизацией полива;

- способствовать освоению новых территорий в аридных зонах;
- снизить антропогенную нагрузку на хрупкие экосистемы;
- обеспечить продовольственную безопасность регионов с ограниченными водными ресурсами.

Малообъёмные методы орошения не просто экономят воду – они формируют новую парадигму земледелия в засушливых условиях, сочетая высокую продуктивность с экологической ответственностью. Их внедрение – стратегическая необходимость для устойчивого развития сельского хозяйства в аридных и полупустынных регионах.

Список использованных источников

1. Бородычев, В.В. Влияние агротехнических приемов на продуктивность арбузов при капельном орошении / В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова, А.А. Дедов // Мелиорация и водное хозяйство. -2015.-№2. - С.11-13.
2. Голованов А.И. Теория оазисного орошения // Природообустройство. – 2008. - №4. – С.5-10.
3. Дедов, А.А. Минеральное питание столового арбуза при капельном орошении в аридных условиях Республики Калмыкия / А.А. Дедов, В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова // Плодородие. 2018. № 2. -С. 11–14.
4. Дедов, А.А. Рациональное использование водных ресурсов при возделывании сельскохозяйственных культур в условиях Калмыцкой степи / А.А. Дедов // Степи Северной Евразии: Материалы X международного симпозиума (Международного степного форума), Оренбург, 27 мая – 02 июня 2024 года. – Оренбург: Институт степи УрО РАН Оренбургского федерального исследовательского центра УрО РАН, 2024. – С. 348–351. – DOI 10.24412/cl-37200-2024-348-351.
5. Дедова, Э.Б. Малообъемное орошение овощебахчевых культур в Калмыкии [Текст] / Э.Б. Дедова, М.А. Сазанов, Г.Н. Кониева // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование» - 2013. - №6(49). – 120 с.
6. Сазанов, М.А. Технология создания гидромелиоративных систем оазисного типа / М.А. Сазанов // В сборнике: Мелиорация и окружающая среда. Юбилейный сборник научных трудов: в 2 томах. Москва, 2004. - С. 163–174.
7. Храбров, М.Ю. Технология малообъемного орошения/М.Ю. Храбров // Мелиорация и водное хозяйство. – М. – 2000–№ 4 – С. 30–32.

References

1. Borodychev, V.V. The influence of agrotechnical techniques on the productivity of watermelons during drip irrigation / V.V. Borodychev, E.B. Dedova, A.A. Dedov // Land reclamation and water management. 2015. No. 2. - pp.11-13.
2. Golovanov A.I. Theory of oasis irrigation // Environmental management. 2008. No. 4. - pp. 5-10.
3. Dedov, A.A. Mineral nutrition of table watermelon under drip irrigation in arid conditions of the Republic of Kalmykia / A.A. Dedov, V.V. Borodychev, E.B. Dedova // Fertility. 2018. No. 2. - pp. 11-14.
4. Dedov, A.A. Rational use of water resources in the cultivation of crops in the conditions of the Kalmyk steppe / A.A. Dedov // Steppes of Northern Eurasia: Proceedings of the X International Symposium (International Steppe Forum), Orenburg, May 27 – June 02, 2024. Orenburg: Institute of Steppe, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg Federal Research Center, Ural

Branch of the Russian Academy of Sciences, 2024. pp. 348-351. DOI 10.24412/cl-37200-2024-348-351.

5. Dedova, E.B. Low-volume irrigation of vegetable crops in Kalmykia [Text] / E.B. Dedova, M.A. Sazanov, G.N. Konieva // Chronicles of the united Fund of electronic resources "Science and Education" - 2013. - №6 (49). – 120 С.

6. Sazanov, M.A. Technology for creating oasis-type hydro-reclamation systems / M.A. Sazanov // In the collection: Land reclamation and the environment. Jubilee collection of scientific papers: in 2 volumes. Moscow, 2004. - pp. 163-174.

7. Khrabrov, M.Y. Technology of low-volume irrigation/M.Y. Khrabrov // Melioration and water management. – М. – 2000–№ 4 – pp. 30-32.

3.6 МОНИТОРИНГ ЗАПАСОВ ВОДЫ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ПОЙМЕННЫХ МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ

В южной части Нечерноземной зоне России на формирование водных режимов осушаемых земель большое влияние оказывает снежный покров [3, 5]. Распределение и качественный состав снежного покрова на водосборе зависит от ряда постоянно действующих как природных, так и антропогенных факторов [7], при этом для обеспечения высокой продуктивности сельскохозяйственных культур необходимо поддерживать оптимальную влажность почвы в течение вегетационного периода [12]. При проведении увлажнительной мелиорации, направленной на повышения впитывания воды в почву, важно изучение объема и свойств влаги на поле, поступающей с атмосферными осадками (жидкими и твердыми) [3, 6, 12].

Исследование химического состава снежного покрова является обязательной частью изучения процессов загрязнения окружающей среды, поскольку оно ярко демонстрирует влияние различных источников загрязнения атмосферного воздуха [1, 4, 11]. Анализ качества снежного покрова позволяет проследить пространственное распределение загрязняющих веществ по территории и получить достоверную картину зон влияния конкретных промышленных предприятий и других объектов на состояние окружающей среды [2, 9].

Цель исследований заключалась в изучении многолетней динамики запасов воды в снежном покрове пойменных мелиорированных земель посредством проведения снегомерного мониторинга.

Снегомерные исследования проводились в зимний период с 2019 по 2026 гг. на стационарном участке наблюдений, расположенном на территории пойменных мелиорированных земель АО «Московское», и заключались в определении высоты и плотности снежного покрова (рис. 3.5), выполненных по промерной линии в форме равностороннего треугольника,

общая длина маршрута 1 км [8]. Наблюдения проводились в момент наибольшей высоты снежного покрова перед началом весеннего таяния снега [10].



Рисунок 3.5 – Определение высоты и плотности снежного покрова при помощи весового снегомера на стационарном участке наблюдений (пойменные земли АО «Московское», Рязанская область, 2026 год)

На основе анализа экспериментальных данных, полученных в ходе снегомерной съемки, были рассчитаны средние значения по высоте и плотности снежного покрова, а также определены запасы воды в снеге стационарного участка мониторинговых наблюдений мелиорированных земель поймы р. Ока (рис. 3.6-3.8).

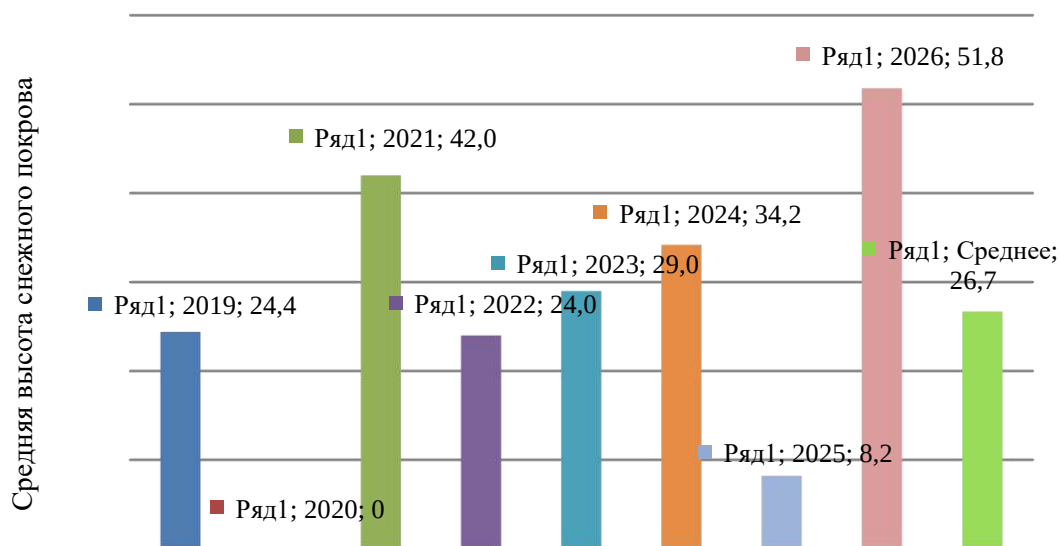


Рисунок 3,6 – Динамика высоты снежного покрова пойменных мелиорированных земель

Установлено, что высота снежного покрова за период наблюдений сильно варьирует, при этом в 2020 году снежный покров отсутствовал. В 2021, 2023,

2024 и 2026 годах отклонение от среднегодовое значения было положительным, увеличение по высоте снежного покрова составило 8,6...94,0%. В 2019, 2022 и 2025 годах отклонение от среднегодовое значения было отрицательным, снижение по высоте снежного покрова составило 8,6...69,3 %.

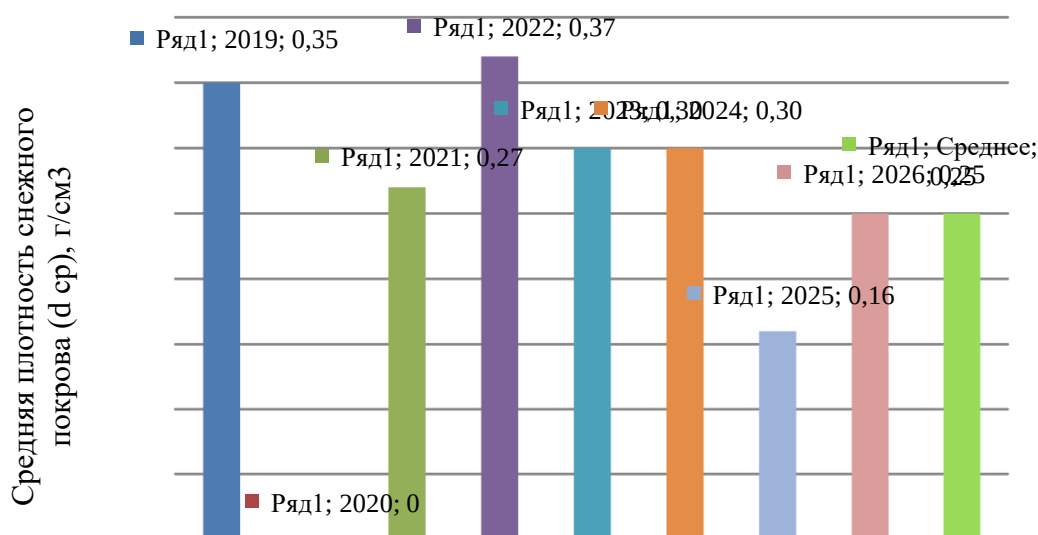


Рисунок 3.7 – Динамика плотности снежного покрова пойменных мелиорированных земель

Исследования показали, что плотность снежного покрова варьировала в диапазоне 0,16...0,37 г/см³, за исключением 2020 года, когда снежный покров отсутствовал. Наибольшее значение плотности снежного покрова зафиксировано в 2022 году - 0,37 г/см³, что на 48,0% выше среднегодовое значения, а наименьшая - в 2025 году (0,16 г/см³), что ниже среднегодовое значения на 36,0%.

Анализ результатов многолетних снегомерных наблюдений по запасам воды в снежном покрове показал, что они сильно варьируют по годам, наибольшее значение запасов воды в снеге зафиксировано в 2026 году – превышение среднегодовое значения составило 69,3%, а наименьшее значение наблюдалось в 2025 году – на 83,1% ниже среднегодовое значения. В 2020 году устойчивый снежный покров отсутствовал из-за неблагоприятных метеорологических условий и отсутствия лесозащитных полос вдоль пойменных мелиорированных земель.

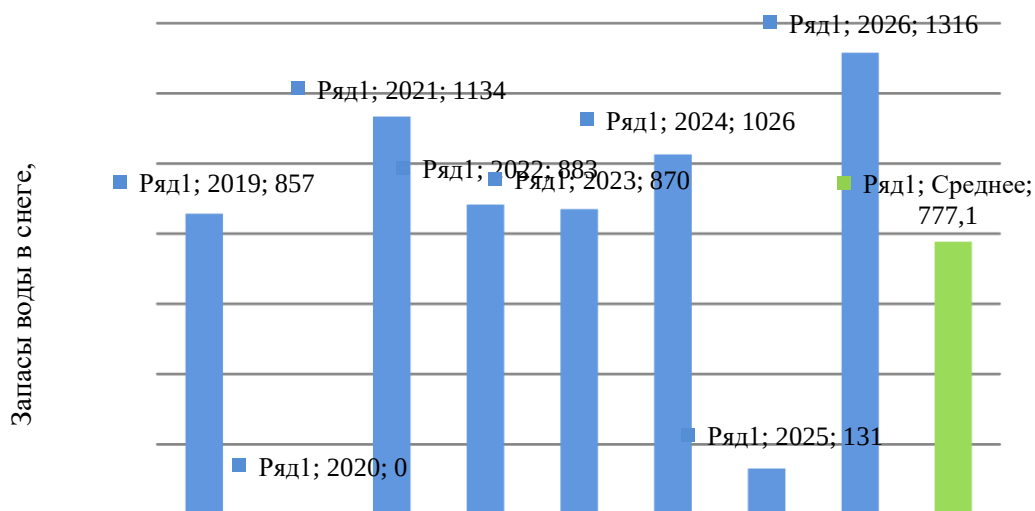


Рисунок 3.8 – Динамика запасов воды в снежном покрове пойменных мелиорированных земель

Полученная в ходе многолетнего мониторинга запасов воды в снежном покрове пойменных мелиорированных земель информация может быть использована:

- в качестве научной основы для проведения исследований по изучению миграции тяжелых металлов в агроэкосистеме при разработке комплексной системы эколого-мелиоративного мониторинга состояния агроландшафтов;

- при сборе, обработке, анализе данных об экологическом состоянии природной среды и техногенной нагрузки на агроландшафт в составе инженерно-экологических изысканий и при проведении локального экологического мониторинга для выявления тенденций количественного и качественного изменения состояния окружающей природной среды в зоне воздействия техно-природных объектов;

- при оптимизации сельскохозяйственного использования мелиорированных земель поймы р. Ока в выращивании кормовых культур на основе регулирования потоков макро- и микроэлементов в агроэкосистемах на территории Рязанской области.

Список использованных источников

1. Василенко В.Н., Назаров Н.М. Мониторинг загрязнения снежного покрова. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 256 с.
2. Ильинский А.В., Евсенкин К.Н., Сельмен Е.В. Оценка поступления тяжелых металлов со снеговыми осадками на мелиорированные земли северной части территории Рязанской области // Орошаемое земледелие. – 2024. – №3 (46). – С. 53-58.

3. Ильинский А.В., Коломийцев Н.В., Матвеев А.В., Евсенкин К.Н., Корженевский Б.И. Новые способы повышения продуктивности деградированных мелиорированных земель с применением информационных технологий: монография. – М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2022. – 151 с.
4. Ильинский А.В., Матвеев А.В., Евсенкин К.Н. Снегомерные исследования как элемент системы комплексного экологического мониторинга мелиорированных земель // Мелиорация и водное хозяйство. – 2023. – №4. – С. 23-25.
5. Маслов Б.С. Мелиорация вод и земель. – М., 2004. – 278 с.
6. Никитин И.С., Панов Е.П., Родин К.И. Мелиорация земель Мещерской низменности. – М.: Моск. рабочий, Рязанское отделение, 1986. 208 с.
7. Никитин И.С., Плехов Л.Н., Томин Ю.А. Определение испарения со снежного покрова // Мелиорация земель Мещерской низменности. – Рязань: Мещерская ЗОМС, 1974. – С. 21-25.
8. Патент на изобретение № 2858362. Способ отбора проб снега и устройство для его осуществления. Авторы: Ильинский А.В., Евсенкин К.Н., Мажайский Ю.А. и др. Заявитель и правообладатель ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова». – Заявка №2025105907, заявл. 13.03.2025; опублик. 17.03.2026. Бюл. № 8.
9. Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С. и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
10. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1964, – 224 с.
11. Свидетельство № 2023622728 о Государственной регистрации базы данных. База данных результатов снегомерной съемки и химико-аналитического анализа снеговой воды для агроэкосистем Мещерской низменности. Авторы: Ильинский А.В., Матвеев А.В., Евсенкин К.Н. Заявитель и правообладатель ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова. – Заявка № 2023622461, дата регистрации 10.08.2023, Бюл. № 8.
12. Шевченко В.А., Бондарева Г.И., Дедова Э.Б., Исаева С.Д. и др. Моделирование природно-техногенных процессов в мелиоративно-водохозяйственном комплексе: монография / под ред. д.с.-х.н., академика РАН В.А. Шевченко. – М.: ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГИМ им. А.Н. Костякова», 2025. – 231 с.

References

1. Vasilenko V.N., Nazarov N.M. Monitoring of snow cover pollution. – L.: Gidrometeoizdat, 1985. – 256 p.
2. Ilyinsky A.V., Evsenkin K.N., Selmen E.V. Assessment of the intake of heavy metals from snowfall on reclaimed lands in the northern part of the Ryazan region // Irrigated agriculture. – 2024. – №3 (46). – С. 53-58.
3. Ilyinsky A.V., Kolomiytsev N.V., Matveev A.V., Evsenkin K.N., Korzhenevsky B.I. New ways to increase productivity of degraded reclaimed lands using information technologies: a monograph. Moscow: FSBI "VNIIGiM named after A.N. Kostyakov", 2022. – 151 p.
4. Ilyinsky A.V., Matveev A.V., Evsenkin K.N. Snow-measuring studies as an element of the integrated environmental monitoring system for reclaimed lands // Land reclamation and water management. – 2023. – No. 4. – pp. 23-25.
5. Maslov B.S. Melioration of waters and lands. – M., 2004. – 278 p.

6. Nikitin I.S., Panov E.P., Rodin K.I. Land reclamation of the Meshcherskaya lowland. Moscow: Mosk. worker, Ryazan branch, 1986. - 208 p.
7. Nikitin I.S., Plekhov L.N., Tomin Yu.A. Determination of evaporation from snow cover // Land reclamation of the Meshcherskaya lowland. Ryazan: Meshcherskaya SOMS, 1974, - pp. 21-25.
8. Patent for invention No. 2858362. The method of snow sampling and the device for its implementation. Authors: Ilyinsky A.V., Evsenkin K.N., Mazhaisky Yu.A. and others. The applicant and the copyright holder of the Federal State Budgetary Institution "FNTS VNIIGiM named after A.N. Kostyakov". – Application no.2025105907, application no. 03/13/2025; published 03/17/2026. Bul. No. 8.
9. Sat Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P., Smirnova R.S. and others. Geochemistry of the environment. Moscow: Nedra Publ., 1990. - 335 p.
10. Chebotarev A.I. Hydrological dictionary. – L.: Hydrometeorological publishing house, 1964, - 224 p.
11. Certificate No. 2023622728 on the State registration of the database. Database of snow measurement results and chemical analytical analysis of snow water for agroecosystems of the Meschersk lowland. Authors: Ilyinsky A.V., Matveev A.V., Evsenkin K.N. The applicant and the copyright holder of the Kostyakov Federal State Budgetary Scientific Institution VNIIGiM. – Application No. 2023622461, registration date 08/10/2023, Byul. No. 8.
12. Shevchenko V.A., Bondareva G.I., Dedova E.B., Isaeva S.D. and others. Modeling of natural and man-made processes in the melioration and water management complex: a monograph / edited by Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences V.A. Shevchenko. Moscow: Federal State Budgetary Scientific Research Center VNIIGIM named after A.N. Kostyakov, 2025. - 231 p.

3.7 ПЛАТА ЗА ВОДУ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА: МЕЖДУНАРОДНЫЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ

Изменение климата, наряду с ростом мировой экономики и экстенсивным развитием сельского хозяйства с целью обеспечения растущего населения планеты продовольствием, обуславливают увеличение объёмов использования водных ресурсов [1]. Вода – ключевой ресурс для сельского хозяйства, которое потребляет до 70% пресной воды в мире. В нашей стране, по данным [2], 24,1% от общего объема забора воды из поверхностных водных объектов пришлось на предприятия и организации, относящиеся (по видам экономической деятельности) к сельскому и лесному хозяйству, охоте, рыболовству и рыбоводству. Глобальный водный дефицит становится всё более острой проблемой: по данным ФАО, сегодня около 2,8 млрд человек проживают в регионах с высоким дефицитом воды.

Как показывает анализ мирового опыта [3], платность использования водных ресурсов выступает одним из ключевых экономических инструментов государственного управления водохозяйственным комплексом и, при этом, необходимым условием эффективности водопользования. Согласно Дублинским

принципам 1992 года вода во всех формах её использования имеет экономическую ценность и должна признаваться экономическим благом [4].

Основными функциями системы платежей за водопользование являются компенсация издержек на реализацию экономически и социально обоснованных мероприятий по устойчивому воспроизводству экологически полноценных водных ресурсов и стимулирование их рационального использования.

Компенсационная функция реализуется посредством направления взимаемых платежей на восстановление, воспроизводство и охрану водных ресурсов, нивелированием связанного с водопользованием негативного воздействия на экосистемы.

Стимулирующая функция направлена на сокращение использования водных ресурсов и снижение прямого и сопутствующего ущерба окружающей среде. Кроме того, платежи за пользование водными объектами выполняют фискальную, учетно-информационную, идеологическую, штрафную и превентивную функции.

Важно не переоценивать стимулирующую функцию платежей за воду: еще в 2001 году [5] на примере Испании было показано, что даже минимальное изменение технологии полива и модернизация машин и оборудования приводит к большему сокращению использования воды для орошения в расчете на урожайность, чем тарифное регулирование.

Не требует доказательств, что система платежей не должна выступать сдерживающим фактором мирового прогресса, общеэкономического роста и сбалансированного развития народного хозяйства, а водные ресурсы должны быть общедоступны.

Практика оплаты воды для орошения существенно различается в разных странах. В большинстве стран размер платежей за водные ресурсы полностью (Иордания, значительная часть стран ЕС) или частично (США, Индия, Великобритания) зависит от объема воды, используемой потребителями [6]. Например, в США нет единой тарифной политики – принципы оплаты водных ресурсов определяются на уровне штатов, с механизмом распределения воды по рыночным ценам и правом первоочередного водопользования. В европейских странах плата чаще всего рассчитывается исходя из площади орошаемых земель, при этом ставки остаются низкими и не стимулируют экономию воды. Государства компенсируют это экологическими программами, субсидиями и льготными займами на модернизацию оросительных систем и внедрение водосберегающих технологий.

В странах Азии (Индонезия, Филиппины) плата зависит не только от площади орошаемых земель, но и от доходности культур, при этом

эксплуатационные расходы частично или полностью покрываются за счет государства. Это связано с низкой рентабельностью сельского хозяйства из-за государственной политики поддержания низких цен, в частности, на рис для обеспечения населения продовольствием. Несмотря на особенности расчета платежей за воду в разных странах, обобщенно подходы можно свести в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – База расчета платежей за водный ресурсы, используемые в целях орошения (составлено автором)

От объема	От площади	Комбинированный
Израиль	Индонезия	Россия
Бельгия	Мексика	Индия
Иордания	Филиппины	Великобритания
Франция	Турция	США

Обратная ситуация в Израиле, где ценообразование носит прогрессивный характер [7]: стоимость воды для орошения составляет около 0,15 доллара за кубометр только в рамках определенного объёма, при его превышении растёт и цена за воду. И чем больше превышение, тем выше цена, вплоть до увеличения в 10 раз. Активное применение технологий капельного орошения позволяет сократить водопотребление на 30...50%. В Китае плата за воду определяется на региональном уровне и зависит от доступности водных ресурсов, при этом государственные расходы на орошение достигают около 50 млрд юаней в год (75% из госбюджета, 25% - за счёт водопользователей). Турция использует дифференцированную систему оплаты: например, за орошение старых земель плата не взимается, а за новые орошаемые земли взимается налог на эксплуатацию сооружений и часть капитальных вложений.

В нашей стране первые попытки введения платы за воду были сделаны в 1920–1930-е годы – платежи за орошаемые земли были централизованы в масштабе союзных республик, однако принятие Конституции 1936 года плату отменило. Следующая попытка собирать плату за поливную воду была сделана после окончания Великой Отечественной войны. Прогрессивным элементом стал учёт ресурсов по объёму забора, а не по площади орошения. Однако система оказалась несостоятельна из-за повсеместного отсутствия должного учёта воды, и также была отменена после смерти Сталина.

Наконец, в 1982 году была введена плата за использование поверхностных и подземных водных объектов [8]. На первых порах плата вводилась для промышленности. В разработке методических указаний по расчету тарифов на воду для орошения активное участие принимали ученые ВНИИГиМ

им А.Н. Костякова. С 1999 по 2004 годы в нашей стране взималась плата за пользование водными объектами. И наконец, в соответствии с Водным кодексом 1995 года система платежей за использование водных ресурсов включала плату, направляемую на восстановление и охрану водных объектов, и плату за пользование водными объектами. С 2005 года платежи взимаются в форме водного налога, который полностью перечисляется в федеральный бюджет. Водным кодексом РФ, вступившим в силу с 2007 года, вместо водного налога была установлена плата за пользование водными объектами. 1 сентября 2023 года вступили [9] в силу изменения в Федеральный закон «О мелиорации земель» и Водный кодекс Российской Федерации, которыми предусмотрена платность услуг по подаче и отводу воды и использованию мелиоративных объектов государственной формы собственности. Для реализации положений этого закона утвержден приказ Министерства сельского хозяйства РФ «Об утверждении Правил расчета стоимости услуг по подаче и (или) отводу воды».

Положенный в основу затратный метод, когда помимо затрат, непосредственно связанных с подачей воды (электроэнергия, эксплуатационные расходы, амортизация, страхование), в расчет включаются плановые затраты на общехозяйственные нужды (текущий и капитальный ремонт, ФОТ и т.д.). В результате, территориальная дифференциация платежей за воду сельхозпроизводителей в разных субъектах РФ отличается значительной неравномерностью и изменчивостью. Подобный подход, то и дело сталкивается с сопротивлением водопользователей, которые не в состоянии «тянуть» завышенные расходы на воду. В результате, приходится переходить на ручное управление тарифами и директивно снижать стоимость доставки воды для потребителей (или субсидировать) то одного, то другого региона (Калмыкия, Ставропольский край).

Необходимо отметить повышенное использование воды в нашей стране, по сравнению с агропроизводством в других странах. В таблице 3.4 представлен средний расход воды на производство одной тонны зерна при орошении в некоторых странах.

Особенность сбора статистики в разных странах обуславливает объединение в рамках одного исследования таких разных по водоемкости культур как пшеница и рис, что не позволяет корректно сравнивать реальную водоёмкость аграрного производства. Однако обобщенные данные по странам позволяют сделать другой вывод: о зависимости используемых ресурсов от затрат сельхозпроизводителей на воду. Так цена 1000 куб. м воды для орошения в Израиле составляет примерно 24 000 рублей (при пересчете),

а, например, в США – 3 400 рублей. Таким образом, очевидно, что высокая стоимость водных ресурсов мотивирует сельхозпроизводителей повышать эффективность использования воды: в Израиле преобладают дождевание и капельное орошение, в то время как поливы более 35% орошаемых площадей в США производятся по бороздам.

Таблица 3.4 – Средний расход воды на производство зерновых культур по странам мира, составлено по данным на 2021 год [10]

Страна	Средний расход воды (м ³ на 1 тонну зерна)	Страна	Средний расход воды (м ³ на 1 тонну зерна)
Израиль	380	Польша	1300
Франция	660	Китай	2500
Испания	720	Узбекистан	3000
Великобритания	790	Индия	3030
США	1000	Египет	3500
Италия	1300	Россия	4800

На планете лишь 24% от всех пахотных земель составляют орошаемые угодья, при этом на них выращивается около 40% мирового производства продовольствия [11]. Необходимо отметить, что в среднесрочной перспективе избыточное орошение может оказывать отрицательные последствия [12], которые не всегда очевидны сельхозпроизводителям. Так в результате избыточного полива и недостаточного дренажа в Поволжье и на Северном Кавказе к началу 2010-х годов по разным оценкам были засолены или заболочены до 20% орошаемых земель. Отчасти это следствие «бесплатной» воды для орошения. Таким образом, платность водопользования выступает естественным препятствием для нерационального использования водных ресурсов, приводящего к неблагоприятным экологическим последствиям.

Основным направлением повышения рациональности водообеспечения и сельскохозяйственного водопользования является внедрения экономических стимулов для сокращения удельного водопотребления сельхозпроизводителей (в том числе, за счет изменения структуры севооборота) и, главное, непроизводительных потерь воды за счет внедрения современных технологий в систему транспортировки воды и орошение.

Список использованных источников

1. Исаева, С. Д. Водные ресурсы для орошения земель / С. Д. Исаева, Э. Б. Дедова // Мелиорация и водное хозяйство. – 2024. – № 4. – С. 74-78. – EDN ABFORQ.

2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2024 году» / Министерство природных ресурсов и экологии РФ. – М.: Минприроды России, 2024. – URL: (дата обращения: 30.03.2026). – Текст: электронный.
3. Исаев, О. И. Повышение эффективности управления водным хозяйством на основе совершенствования экономической оценки водных ресурсов / О. И. Исаев // Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства: сборник тезисов докладов VII Всероссийского научно-практического семинара, Москва, 22 мая 2024 года. – М.: Издательство МИСИ-МГСУ, 2024. – С. 110–111. – EDN VQPYCK.
4. Бик, И. ван. Планирование и управление водохозяйственными системами: введение в методы, модели и приложения / И. ван Бик, П. Лаукс; под ред. М. В. Селиверстовой; [пер. с англ.: А. Е. Асарин и др.]; Федеральное агентство водных ресурсов. – М.: Юстицинформ, 2009. – 659 с.: ил., табл. – ISBN 978-5-7205-1008.
5. Покровская, С. Ф. Анализ влияния различных вариантов политики в области цен на воду на объём водопользования, доходы фермеров и государственных учреждений водного хозяйства на примере Испании / С. Ф. Покровская // Экономика сельского хозяйства. Реферативный журнал. – 2001. – № 4. – С. 875. – EDN EBUUVL.
6. Doe, J., Smith, A. Impact of water taxes on California farmers [Электронный ресурс] // Phys.org. – 2024. – URL: <https://phys.org/news/2024-07-irrigation-tax-farmers-intensive-crops.html> (дата обращения: 25.02.2026).
7. Орловский, Н. С. Водные ресурсы Израиля: опыт освоения / Н. С. Орловский, И.С. Зонн // Проблемы постсоветского пространства. – 2018. – Том 5, № 1. – С. 8–36. – DOI: 10.24975/2313-8920-2018-5-1-8-36. – ISSN 2313-8920.
8. Быстрицкая, Н. С. Развитие платного водопользования в России / Н. С. Быстрицкая // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2010. – № 2(110). – С. 13-16. – EDN PCFRNH.
9. Федеральный закон от 10 января 1996 г. №4-ФЗ «О мелиорации земель» (с изменениями и дополнениями от 28 ноября 2025 г.).
10. Платежи предприятий за пользование поверхностными водными объектами в условиях рыночной экономики / А. В. Шевчук, С. П. Анисимов, А. И. Артеменков и др.; под ред. А.В. Шевчука. – М.: Белый ветер, 2021. – 469 с. – ISBN 978-5-907420-77-9.
11. Бубер, А. А. Анализ методических подходов к обоснованию режимов орошения сельскохозяйственных культур / А. А. Бубер, С. В. Брыль // Экология и строительство. – 2024. – № 4. – С. 52-58. – DOI 10.35688/2413-8452-2024-04-007. – EDN HQWTSX.
12. Кац Д. М. Контроль режима грунтовых вод на орошаемых землях [Текст] / Д. М. Кац. – М.: Колос, 1967. – 183 с.: ил., карт. – 20 см.

References

1. Isaeva, S. D. Water resources for irrigation of lands / S. D. Isaeva, E. B. Dedova // Land reclamation and water management. – 2024. – No. 4. – pp. 74-78. – EDN ABFORQ.
2. State report "On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2024" / Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation. Moscow: Ministry of Natural Resources of Russia, 2024. URL: (accessed: 30.03.2026). – Text: electronic.
3. Isaev, O. I. Improving the efficiency of water management based on improving the economic assessment of water resources / O. I. Isaev // Modern problems of hydraulics and hydraulic

- engineering: collection of abstracts of the VII All-Russian Scientific and Practical seminar, Moscow, May 22, 2024. Moscow: MISI–MGSU Publishing House, 2024. - pp. 110-111. - EDN VQPYCK.
4. Bik, I. van. Planning and management of water management systems: an introduction to methods, models and applications / I. van Beek, P. Laux; edited by M. V. Seliverstova; [trans. from English: A.E. Asarin and others.]; Federal Agency for Water Resources. Moscow: Justicinform, 2009. - 659 p.: ill., table. ISBN 978-5-7205-1008.
5. Pokrovskaya, S. F. Analysis of the impact of various policy options in the field of water prices on the volume of water use, incomes of farmers and state water management institutions on the example of Spain / S. F. Pokrovskaya // Agricultural economics. Abstract Journal, 2001, No. 4, - p. 875, EDN EBUUVL.
6. Doe, J., Smith, A. Impact of water taxes on California farmers [Electronic resource] // Phys.org – 2024. – URL: <https://phys.org/news/2024-07-irrigation-tax-farmers-intensive-crops.html> (date of request: 02/25/2026).
7. Orlovsky, N. S. The water resources of Israel: the experience of development / N. S. Orlovsky, I.S. Sonn // Problems of the post-Soviet space. - 2018. – Volume 5, No. 1. – pp. 8-36. – DOI: 10.24975/2313-8920-2018-5-1-8-36. – ISSN 2313-8920.
8. Bystritskaya, N. S. Development of paid water use in Russia / N. S. Bystritskaya // Use and protection of natural resources in Russia. – 2010. – № 2(110). – Pp. 13-16. – EDN PCFRNH.
9. Federal Law No. 4-FZ of January 10, 1996 "On Land Reclamation" (with amendments and additions dated November 28, 2025).
10. Payments of enterprises for the use of surface water bodies in a market economy / A.V. Shevchuk, S. P. Anisimov, A. I. Artemenkov et al.; edited by A.V. Shevchuk. – M.: Bely Veter, 2021. – 469 p. – ISBN 978-5-907420-77-9.
11. Buber, A. A. Analysis of methodological approaches to substantiation modes of irrigation of agricultural crops / A. A. Buber, S. V. Bryl // Ecology and Construction. – 2024. – No. 4. – pp. 52-58. – DOI 10.35688/2413-8452-2024-04-007. – EDN HQWTSX.
12. Katz D. M. Control of the groundwater regime on irrigated lands [Text] / D. M. Katz. – M.: Kolos, 1967. – 183 p.: ill., maps. – 20 cm.

3.8 КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЮ РЕЧНОГО СТОКА В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ

Обеспечение условий жизнедеятельности населения южных регионов РФ полностью зависит от наличия и качества водных ресурсов для хозяйственно-питьевого водоснабжения, сельского хозяйства и других отраслей экономики. В процессе потепления климата усиливается непредсказуемость климатических и погодных условий, существенно возрастают риски ведения сельского хозяйства.

В настоящее время Правительством РФ разработан ряд стратегических документов по адаптации к климатическим изменениям. К ним относятся: Климатическая доктрина [1]; Стратегия экологической безопасности на период до 2025 года [2]; Стратегия социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года [3]; Национальный план мероприятий по адаптации к изменениям климата на период до 2025 года

и до 2028 г.[4], Методические рекомендации по учёту рисков от изменения климата в документах стратегического планирования субъектов РФ [5] и др.

В соответствии с документами возникают задачи по разработке мероприятий, необходимых для снижения рисков значительных экономических потерь, а также сохранения благоприятных условий жизнеобеспечения населения. Одним из важнейших направлений адаптации является обеспечение населения и экономики водными ресурсами, предотвращение противоположных по сути процессов: катастрофических паводков и опустынивания земель.

В южных регионах страны в условиях многолетнего сокращения речного стока, вододефицита, основным источником водоснабжения могут стать водные ресурсы, поступающие из северных речных бассейнов за счет частичного перераспределения стока.

Перераспределение стока как способ повышения водообеспеченности, широко используется во многих странах мира: в Казахстане продолжается эксплуатация и модернизация канала Иртыш–Караганда, построенного еще в СССР; в странах Персидского залива - ОАЭ и Саудовская Аравия реализуют масштабные проекты по перераспределению водных ресурсов. Активно развиваются аналогичные работы, направленные преимущественно на развитие оросительных систем, в Индии. В США основное внимание уделяется модернизации существующих систем перераспределения стока реки Колорадо, а также различные инициативы по перераспределению воды в Калифорнии. Давно и успешно реализуются такие проекты в Израиле, Испании и других странах [6, 7].

Цель частичного перераспределения стока северных рек – обеспечение дополнительными водными ресурсами южных регионов европейской части РФ в условиях неблагоприятных климатических изменений, управление экологическими и социально-экономическими рисками и предотвращение неблагоприятных воздействий паводков и засух на окружающую среду.

Для достижения цели исследования выполняются по следующим направлениям:

- формирование концептуальных подходов и модели интегрального обоснования перераспределения водных ресурсов для повышения водообеспеченности регионов Нижней Волги, Дона и Северного Прикаспия до 2050–2070 гг. с учётом их социально-экономического развития, глобальных изменений климата с применением цифровых, инновационных технологий и инженерных решений;

- разработка математических моделей, алгоритмов и вычислительных технологий оптимального перераспределения водных ресурсов в бассейны рр. Волга, Дон на основе методов многокритериального анализа и теории компромиссов;

➤ предложение конструктивных решений при модернизации и строительстве гидротехнических сооружений гидромелиоративных систем в зоне перераспределения стока с учетом гидрологических и морфологических особенностей территории;

➤ определение стратегии частичного перераспределения стока северных рек для обеспечения дополнительными водными ресурсами южных регионов европейской части РФ в условиях неблагоприятных климатических изменений.

Разработанные в ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова концептуальные подходы и концептуальная модель определяют ключевые положения по обоснованию частичного перераспределения стока северных рек в южные регионы европейской части страны. Модель определяет цель и задачи исследований, а также включает рассмотрение:

➤ концептуальных подходов к разработке стратегии повышения водообеспеченности;

➤ основных природно-техногенные и социально-экономических факторов в пределах речных бассейнов системы перераспределения стока;

➤ принципов обоснования экологически безопасного перераспределения стока между водосборными бассейнами;

➤ ограничений, принимаемых при обосновании частичного перераспределения стока;

➤ методов научного и технологического обоснования частичного перераспределения стока;

➤ сценарных исследований для рассмотрения вариантов достижения цели;

➤ рационального решения для достижения цели.

Основные предложенные концептуальные основы, принципы и ограничения при разработке стратегии повышения водообеспеченности заключаются в следующих положениях:

- процесс перераспределения стока рассматривается как природоориентированное решение проблем жизнеобеспечения населения в засушливых регионах за счет обмена ресурсами, прежде всего водными, между водообменными системами речных бассейнов на основе современных технологий;

- обоснование базируется на системном представлении о функционировании речных бассейнов как геосистем и рассмотрении природно-техногенных и социально-экономических процессов в речных бассейнах как единого комплекса факторов, подлежащих учету;

- предполагается реализация экосистемного водопользования на водных объектах и водосборных территориях и соблюдение экологических ограничений для сохранения устойчивости геосистем к антропогенному воздействию;
- несомненна обязательность оценки прогнозной потребности, нормирование объемов изъятия и использования водных ресурсов, применение современных средств автоматического водоучета;
- управление водохозяйственными системами проводится на новом технологическом уровне за счет применения методов цифровизации;
- обосновывается внедрение новейших конструкций ГТС и способов орошения для повышения технического уровня мелиоративных систем.

Научное обоснование возможности и целесообразности перераспределения стока базируется на применении классических естественнонаучных методов, а также цифровизации, включая использование геоинформационных технологий, методов Big Data, гидродинамического и оптимизационного моделирования, прогнозных и генеративных моделей искусственного интеллекта, на создании интеллектуальных мультиагентных геоинформационно-аналитических систем поддержки принятия решений и веб-ГИС-портала [8-10]. При технологическом обосновании используются инновации в конструктивных решениях, технологиях строительства и управлении эксплуатацией гидротехнических сооружений.

Особое значение придается методам цифровизации в процессе обоснования частичного перераспределения стока. Разработана система программных продуктов, включая:

- интеллектуальную мультиагентную геоинформационно-аналитическую систему мониторинга, прогнозирования и поддержки принятия решений при управлении мелиоративно-водохозяйственным комплексом [11,12];
- модели искусственного интеллекта для анализа и прогнозирования метео- и гидрологических временных рядов при изучении влияния климатических изменений на водообеспеченность регионов [13];
- прикладное программное обеспечение для определения морфометрических характеристик русел водотоков естественного и искусственного происхождения на основе цифровых моделей рельефа и местности (программа Mkprof) [14, 15];
- программные средства анализа течения и расчета расхода воды.

Разрабатывается научное обоснование оптимального перераспределения водных ресурсов в бассейне реки Волги на основе гидродинамического моделирования с применением модуля «Управляемые гидротехнические сооружения», и бассейне р. Дон в интересах сельскохозяйственных водопользователей на основе цифровых и геоинформационных технологий, методов многокритериального анализа и теории компромиссов [15,16].

Методические задачи при обосновании частичного перераспределения стока северных рек, решаемые сегодня, включают:

- выполнение сбора, обработки данных с созданием специальных баз данных по гидропостам и метеостанциям, а также спутниковых снимков за многолетний период по территории прохождения трасс частичного перераспределения;
- разработка интегральных показателей устойчивого функционирования речных бассейнов в зоне изъятия стока при разных сценариях глобального изменения климата;
- оценка допустимых объемов изъятия водных ресурсов из водных объектов-доноров, разработка мер по обеспечению условий приема стока в регионах-реципиентах, определение дополнительных объемов воды, которые могут быть получены за счет водосбережения в зоне орошения;
- совершенствование бассейновых принципов управления водными ресурсами на основе систематизации основных факторов, индикаторов и ограничений при реализации управления перераспределением стока с применением программно-целевого планирования водохозяйственной деятельности и нексус-подхода для поиска компромиссных решений по водопользованию для обеспечения продовольственной безопасности и эколого-социальной устойчивости регионов;
- определении этапов работ по частичному перераспределению стока;
- выполнение системной интеграции собранной информации в веб-ГИС-портал.

Проводимые исследования рассматриваются как основа для разработки стратегии частичного перераспределения стока северных рек для обеспечения дополнительными водными ресурсами южных регионов европейской части РФ до 2050-2070 гг. в условиях неблагоприятных климатических изменений.

Список использованных источников

1. Указ Президента РФ от 26 октября 2023 года №812 «Об утверждении климатической доктрины Российской Федерации». <http://www.kremlin.ru/acts/bank/49910?ysclid=mnprqgl2mjp910107002>.
2. Указ Президента Российской Федерации от 19.04.2017 г. № 176 «Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года».
3. Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021 N 3052-р «Стратегия социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202111010022?ysclid=mnprqikxahg791267816>
4. Распоряжение Правительства РФ от 11 марта 2023 года №559-р «Об утверждении национального плана мероприятий второго этапа адаптации к изменениям климата на период до 2025 года» и проект третьего этапа адаптации к изменениям климата

на период до 2028 года. <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202303130019?ysclid=mnprqfqb6gf540952166>.

5. Приказ Минэкономразвития России от 28 июня 2024 года №397 «О методических рекомендациях по учёту рисков от изменения климата в документах стратегического планирования субъектов Российской Федерации». https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/prikaz_minekonomrazvitiya_rossii_ot_28_iyunya_2024_g_397.html?ysclid=mnprqht92mk676208258.

6. Кизяев, Б.М. К решению проблемы водообеспечения регионов России в условиях аридизации климата / Б.М. Кизяев, С.Д. Исаева // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения: материалы международной научно-практической конференции, Москва, 29–30 марта 2016 года. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2016. – С. 9-17.

7. Шевченко, В.А. Новый этап развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса Российской Федерации / В.А. Шевченко, С.Д. Исаева, Э.Б. Дедова // Вестник Российской академии наук. – 2023. – Т. 93, № 4. – С. 355-361. – DOI 10.31857/S0869587323040114.

8. Исаева, С.Д. Принципы и алгоритм создания ГИС-веб-системы поддержки принятия решений по интегральному управлению мелиоративно-водохозяйственным комплексом / С.Д. Исаева, Э.Б. Дедова, А.В. Матвеев, Р.М. Шабанов // Мелиорация земель в решении геоэкологических проблем Евразии (Костяковские чтения): Материалы международной Научно-практической конференции, Москва, 14–15 декабря 2023 года. – Москва: ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2024. – С. 407-413. – DOI 10.37738/VNIIGIM.2024.71.47.064.

9. Дедова, Э.Б. Веб-ГИС-система для обоснования решений по интегральному управлению мелиоративно-водохозяйственным комплексом / Э.Б. Дедова, С.Д. Исаева, А.В. Матвеев, Р.М. Шабанов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2024. – № 4. – С. 47-51.

10. Матвеев, А.В. Создание экспертной системы с применением геоинформационных и веб-технологий для совершенствования организации управления мелиоративно-водохозяйственным комплексом / А.В. Матвеев, Р.М. Шабанов, Э.Б. Дедова, С.Д. Исаева // Сельский механизатор. – 2024. – № 2. – С. 34-36. – DOI 10.47336/0131-7393-2024-2-34-35-36.

11. Шевченко, В.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026613885 Российская Федерация. Интеллектуальная мультиагентная геоинформационно-аналитическая система мониторинга и управления мелиоративно-водохозяйственным комплексом для повышения плодородия почв: заявл. 03.02.2026: опубл. 10.02.2026 / В.А. Шевченко, А.В. Матвеев, С.Д. Исаева [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова».

12. Матвеев, А.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024661624 Российская Федерация. Веб-ГИС-сервис для ведения комплексного экологического мониторинга орошаемых земель Сарпинской обводнительно-оросительной системы: № 2024660661: заявл. 14.05.2024: опубл. 21.05.2024 / А.В. Матвеев, Э.Б. Дедова, С.Д. Исаева, Р.М. Шабанов; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова».

13. Матвеев, А.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025667443 Российская Федерация. Веб-сервис для анализа и прогнозирования гидрологических данных с применением модели машинного обучения и рекуррентной нейронной сети: заявл. 20.06.2025; опубл. 04.07.2025 / А.В. Матвеев; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова».
14. Талызов, А.А. Методика формирования сведений о русловом рельефе для решения задач численного моделирования водотоков / А.А. Талызов // Мелиорация и орошаемое земледелие в решении задач устойчивого развития АПК: К 100-летию Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова. – М.: ФГБНУ "ФНИЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова", 2024. – С. 155-159. – DOI 10.37738/VNIIGIM.2024.93.56.017.
15. Бубер, А.А. Формирование гидродинамической модели стока для оценки функционирования гидротехнических сооружений на зарегулированном речном бассейне / А.А. Бубер, А.Л. Бубер, В.В. Ильинич [и др.] // Гидротехническое строительство. – 2025. – № 11. – С. 42-49. – DOI 10.71917/EP.2025.11.36.98.006.
16. Бубер, А.А. Гидродинамическое моделирование при управлении водными ресурсами Нижней волги в целях сохранения уникальной экосистемы дельты р. Волги и Западных подступных ильменей / А.А. Бубер, Ю.П. Добрачев, А.Л. Бубер // Экосистема Каспия: ключевые проблемы и решения: материалы международной научно-практической конференции, Москва, 27 июня 2025 года. – Москва: Издательский дом "УМЦ", 2025. – С. 5-20.

References

1. Decree of the President of the Russian Federation dated October 26, 2023 No. 812 "On Approval of the Climate Doctrine of the Russian Federation". <http://www.kremlin.ru/acts/bank/49910?ysclid=mnppqgl2mjn910107002>.
2. Decree of the President of the Russian Federation dated 04/19/2017 No. 176 "Strategy of Environmental Safety of the Russian Federation for the period up to 2025".
3. Decree of the Government of the Russian Federation dated 10/29/2021 N 3052-r "Strategy of socio-economic development of the Russian Federation with low greenhouse gas emissions until 2050" <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202111010022?ysclid=mnppqikxahg791267816>.
4. Decree of the Government of the Russian Federation dated March 11, 2023 No. 559-r "On approval of the national action plan for the second stage of adaptation to climate change for the period up to 2025" and the draft of the third stage of adaptation to climate change for the period up to 2028. <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202303130019?ysclid=mnppqfgo6gf540952166>.
5. Order No. 397 of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation dated June 28, 2024 "On methodological recommendations for taking into account risks from climate change in Strategic Planning documents of the subjects of the Russian Federation". https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/prikaz_minekonomrazvitiya_rossii_ot_28_iyunya_2024_g_397.html?ysclid=mnppqht92mk676208258.
6. Kizyaev, B.M. To solve the problem of water supply in the regions of Russia in the context of climate aridization / B.M. Kizyaev, S.D. Isaeva // Land reclamation and water management: problems

- and solutions: proceedings of the International Scientific and practical conference, Moscow, March 29-30, 2016. Moscow: All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, 2016, pp. 9-17.
7. Shevchenko, V.A. A new stage in the development of the meliorative and water management complex of the Russian Federation / V.A. Shevchenko, S.D. Isaeva, E.B. Dedova // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. – 2023. – Vol. 93, No. 4. – pp. 355-361. – DOI 10.31857/S0869587323040114.
 8. Isaeva S.D., Dedova E.B., Matveev A.V., Shabanov R.M. Principles and algorithm for creating a GIS web-based decision support system for integrated management of the land reclamation and water management complex // Land reclamation in solving geoeological problems of Eurasia (Kostyakov readings): Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Moscow, December 14-15, 2023. Moscow: A.N. Kostyakov Federal State Budgetary Scientific Research Center VNIIGiM, 2024. pp. 407-413. DOI 10.37738/VNIIGIM.2024.71.47.064.
 9. Dedova, E.B. Web-GIS system for substantiating decisions on integrated management of the meliorative and water management complex / E.B. Dedova, S.D. Isaeva, A.V. Matveev, R.M. Shabanov // Melioration and water management. – 2024. – No. 4. – pp. 47-51.
 10. Matveev, A.V. Creation of an expert system using geoinformation and web technologies to improve the management of the melioration and water management complex / A.V. Matveev, R.M. Shabanov, E.B. Dedova, S.D. Isaeva // Rural machine operator. – 2024. – No. 2. – pp. 34-36. – DOI 10.47336/0131-7393-2024-2-34-35-36.
 11. Shevchenko, V.A. Certificate of state registration of a computer program No. 2026613885 Russian Federation. Intelligent multi-agent geoinformation and analytical system for monitoring and managing the melioration and water management complex to increase soil fertility: application 02/03/2026: published 02/10/2026 / V.A. Shevchenko, A.V. Matveev, S.D. Isaeva [et al.]; the applicant is the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov".
 12. Matveev, A.V. Certificate of state registration of a computer program No. 2024661624 Russian Federation. Web GIS service for conducting integrated environmental monitoring of irrigated lands of the Sarpinsk irrigation system: No. 2024660661: application. 05/14/2024: published on 05/21/2024 / A.V. Matveev, E.B. Dedova, S.D. Isaeva, R.M. Shabanov; applicant Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakova".
 13. Matveev, A.V. Certificate of state registration of a computer program No. 2025667443 Russian Federation. Web service for the analysis and forecasting of hydrological data using a machine learning model and a recurrent neural network: application. 06/20/2025: publ. 07/04/2025 / A.V. Matveev; applicant Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov".
 14. Talyzov, A.A. Methodology for the formation of information about the Ruslov relief for solving the problems of numerical modeling of watercourses / A.A. Talyzov // Land reclamation and irrigated agriculture in solving the problems of sustainable development of agriculture: Dedicated to the 100th anniversary of the All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov. Moscow: A.N. Kostyakov Federal State Budgetary Scientific Research Center VNIIGiM, 2024, pp. 155-159. DOI 10.37738/VNIIGIM.2024.93.56.017.

15. Buber, A.A. Formation of a hydrodynamic flow model for assessing the functioning of hydraulic structures in a regulated river basin / A.A. Buber, A.L. Buber, V.V. Ilyinich [et al.] // Hydraulic engineering construction. – 2025. – No. 11. – pp. 42-49. – DOI 10.71917/EP.2025.11.36.98.006.
16. Buber, A.A. Hydrodynamic modeling in the management of water resources of the Lower Volga in order to preserve the unique ecosystem of the Volga River delta and the Western Ilmen River basins / A.A. Buber, Yu.P. Dobrachev, A.L. Buber // The ecosystem of the Caspian Sea: key problems and solutions: proceedings of the International Scientific and practical conference, Moscow, June 27, 2025. Moscow: UMTS Publishing House, 2025, pp. 5-20.

3.9 МОДЕЛЬНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМНЫМ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ

Рациональное управление водными ресурсами на межхозяйственных оросительных системах в современных природно-хозяйственных условиях характеризуется возрастающей сложностью и неопределённостью. Усиление дефицита водных ресурсов, изменение климатических условий, износ гидромелиоративной инфраструктуры и усложнение структуры водопользования обуславливают необходимость совершенствования методов планирования и оперативного управления водораспределением.

Традиционные подходы к управлению водопользованием, основанные на регламентных и нормативных схемах, в условиях изменчивости водообеспеченности и многокритериальности задач управления не обеспечивают требуемого уровня обоснованности принимаемых решений [1,2]. Ограниченность информации о текущем и прогнозируемом состоянии системы, а также отсутствие инструментария комплексного анализа взаимосвязанных процессов водораспределения и технической эксплуатации оросительных систем снижают эффективность функционирования водохозяйственных объектов.

Развитие цифровых технологий формирует предпосылки для перехода к новым принципам управления водопользованием, основанным на интеграции моделирования, анализа данных и интеллектуальной поддержки принятия решений [3,4]. В этом контексте одним из перспективных направлений является использование цифровых двойников, представляющих собой виртуальные модели, синхронизированные с реальными объектами и позволяющие воспроизводить, анализировать и прогнозировать процессы их функционирования [3-5].

Несмотря на активное развитие подходов к созданию цифровых двойников, вопросы формирования их модельно-алгоритмического обеспечения, обеспечивающего интеграцию экономико-математических, инженерных и прогнозных моделей в едином расчётном контуре, остаются

недостаточно проработанными применительно к задачам управления водопользованием на межхозяйственных оросительных системах [5,6].

В связи с этим в составе НИР ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова на 2025-2027 гг. выполняется разработка прототипа цифрового двойника процесса управления водопользованием на государственных оросительных системах с использованием методов искусственного интеллекта. Исследования проводятся на базе оросительных систем ФГБУ «Управление «Приволжскмелиоводхоз» (Республика Татарстан), являющегося индустриальным партнером ФНЦ ВНИИГиМ.

Интерес представляют результаты разработки модельно-алгоритмического контура цифрового двойника, обеспечивающего интеграцию моделей водораспределения, технической эксплуатации и прогнозирования, и направленного на повышение обоснованности принимаемых управленческих решений. Исследования выполнены на примере межхозяйственных оросительных систем, функционирующих в условиях ограниченности водных ресурсов, изменчивости природно-климатических факторов и износа гидромелиоративной инфраструктуры. Процессы управления при создании модельно-алгоритмического контура цифрового двойника водопользованием включают планирование водораспределения, оперативное регулирование режимов водоподачи и принятие управленческих решений с учётом ресурсных и технологических ограничений. Методическую основу исследования составляют положения системного анализа, теории управления водохозяйственными системами, экономико-математического моделирования и методов интеллектуальной обработки данных; применён комплекс взаимосвязанных методов, обеспечивающих формализацию процессов водопользования, интеграцию моделей различной природы и разработку модельно-алгоритмического обеспечения цифрового двойника управления водопользованием на межхозяйственных оросительных системах.

Разработка модельно-алгоритмического обеспечения цифрового двойника управления водопользованием требует формализации круга решаемых задач, определения границ моделирования и выбора системы показателей, характеризующих эффективность функционирования оросительных систем.

В рамках настоящего исследования рассматривается межхозяйственный уровень управления, на котором осуществляется распределение водных ресурсов между водопользователями, а также координация режимов водоподачи с учётом ограничений, обусловленных водообеспеченностью и техническим состоянием оросительной инфраструктуры. Данный уровень управления характеризуется наличием разнонаправленных интересов водопользователей,

необходимостью учёта ресурсных ограничений и высокой чувствительностью к изменению природных условий. К числу основных задач управления водопользованием, подлежащих формализации в составе цифрового двойника, отнесены [7,8]:

- планирование водораспределения между водопользователями;
- оперативное управление режимами водоподдачи;
- учёт дефицита водных ресурсов;
- оценка потерь воды при транспортировке и распределении;
- увязка процессов водораспределения с задачами технической эксплуатации оросительной системы;
- прогнозирование параметров водопользования, необходимых для формирования упреждающих управленческих решений.

Формирование модельно-алгоритмического обеспечения осуществляется с учётом ограничений, отражающих условия функционирования оросительных систем. К основным ограничениям относятся ограниченность доступных водных ресурсов, пропускная способность элементов оросительной сети, а также технологические и эксплуатационные требования, обеспечивающие устойчивость режимов водоподдачи.

Моделирование процессов водопользования осуществляется в рамках заданных пространственно-временных границ. Пространственные границы охватывают межхозяйственную оросительную систему и входящие в её состав водохозяйственные объекты, включая каналы, гидротехнические сооружения, узлы водораспределения и насосные станции. Временной горизонт моделирования включает как плановые интервалы (сезон, вегетационный период), так и оперативные интервалы, необходимые для анализа текущих режимов водоподдачи и принятия управленческих решений.

В качестве выходных характеристик модельно-алгоритмического обеспечения рассматриваются показатели, отражающие результаты функционирования системы водопользования. К ним относятся интегральный результат водопользования, величина дефицита водных ресурсов, потери воды в оросительной сети, устойчивость режимов водоподдачи, а также экономические показатели деятельности водохозяйственных организаций. Сформулированные задачи, ограничения и границы моделирования определяют требования к структуре модельно-алгоритмического обеспечения цифрового двойника и служат основой для разработки интегрированного расчётного контура, обеспечивающего согласованное функционирование моделей и алгоритмов управления водопользованием.

Структура модельно-алгоритмического обеспечения цифрового двойника.

Модельно-алгоритмическое обеспечение цифрового двойника управления водопользованием представляет собой совокупность взаимосвязанных моделей и алгоритмов, обеспечивающих формализацию, анализ и оптимизацию процессов функционирования межхозяйственных оросительных систем. Его назначение состоит в интеграции разнородных расчетных и аналитических компонентов в единый контур, ориентированный на поддержку принятия управленческих решений.

Структурно модельно-алгоритмическое обеспечение формируется как многоуровневая система, включающая модели различной природы и алгоритмы, позволяющие их согласованное взаимодействие. В его составе выделяются следующие основные компоненты:

- *экономико-математические модели управления водораспределением*, предназначенные для формирования рациональных режимов распределения водных ресурсов между водопользователями с учётом ограниченности водообеспеченности и приоритетов водопользования;
- *модели технической эксплуатации оросительных систем*, обеспечивающие учёт влияния технического состояния элементов инфраструктуры на параметры водоподачи, потери воды и устойчивость функционирования системы;
- *прогнозные модели*, реализованные с использованием методов анализа данных и машинного обучения и предназначенные для определения ожидаемых параметров водопользования и внешних факторов;
- *алгоритмы многокритериальной оптимизации*, обеспечивающие согласование результатов расчётов различных моделей и формирование рациональных и альтернативных вариантов управления водопользованием;
- *алгоритмы сценарного анализа и поддержки принятия решений*, ориентированные на оценку последствий различных управленческих воздействий и выбор предпочтительных стратегий функционирования системы.

Взаимодействие указанных компонентов осуществляется в рамках единого расчетного контура, реализующего последовательную обработку информации и согласование входных и выходных параметров моделей. На первом этапе выполняется формирование и подготовка исходных данных, характеризующих состояние водохозяйственной системы, природные условия и параметры водопользования. На основе этих данных реализуются прогнозные модели, позволяющие определить ожидаемые значения ключевых параметров функционирования системы.

Полученные прогнозные оценки используются в качестве входной информации для экономико-математических моделей водораспределения и моделей технической эксплуатации, в рамках которых формируются допустимые и оптимальные режимы функционирования оросительной системы. Далее результаты расчетов обрабатываются алгоритмами многокритериальной оптимизации, позволяющими согласование различных критериев эффективности управления.

На завершающем этапе реализуются алгоритмы сценарного анализа, позволяющие формировать и сопоставлять альтернативные варианты управления водопользованием при различных условиях функционирования системы. Это обеспечивает возможность выбора управленческих решений, наиболее полно соответствующих заданным целям и ограничениям. Обобщённая структура взаимодействия компонентов модельно-алгоритмического обеспечения цифрового двойника представлена на рисунке 3.9.

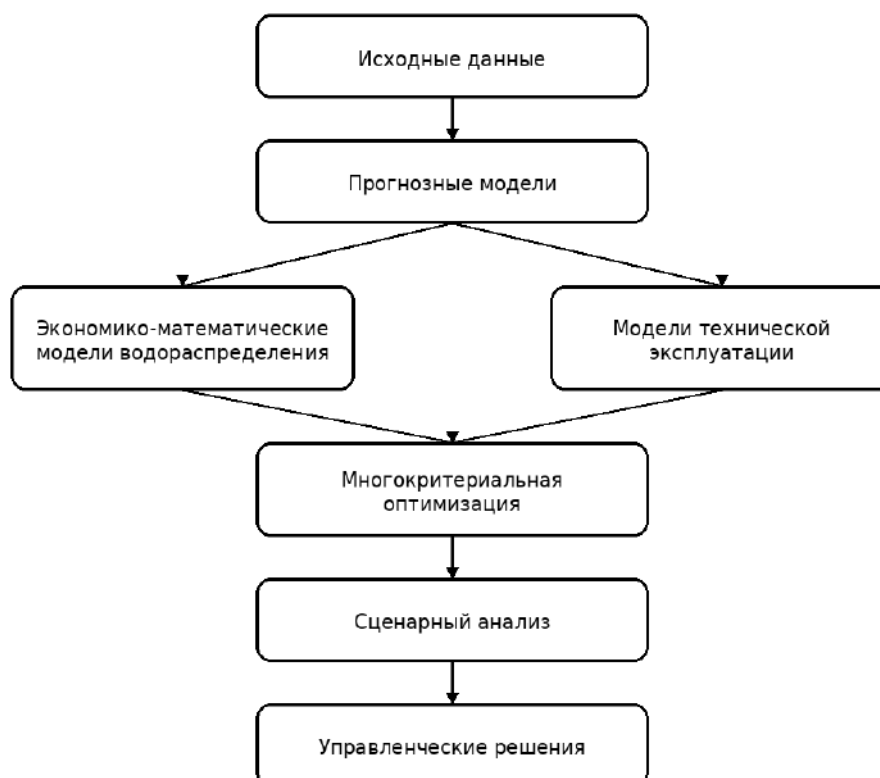


Рисунок 3.9 – Структура модельно-алгоритмического обеспечения цифрового двойника управления водопользованием

Таким образом, модельно-алгоритмическое обеспечение цифрового двойника реализует замкнутый цикл обработки информации, включающий этапы прогнозирования, оптимизации и анализа управленческих решений. Его ключевой особенностью является интеграция моделей различной природы

в едином расчетном контуре, позволяющем согласование принимаемых решений и повышение обоснованности управления водопользованием в условиях ограниченности ресурсов и изменчивости внешних факторов.

Состав и функциональная роль основных компонентов модельно-алгоритмического обеспечения цифрового двойника представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Состав модельно-алгоритмического обеспечения цифрового двойника управления водопользованием

Компоненты	Назначение	Используемые модели и алгоритмы	Роль в контуре управления
Экономико-математические модели водораспределения	Формирование рациональных режимов водоподачи	Многокритериальная оптимизация, балансовые и оптимизационные модели	Определение параметров распределения водных ресурсов
Модели технической эксплуатации	Учёт состояния инфраструктуры и планирование эксплуатационных мероприятий	Модели оценки технического состояния, надёжности, оптимизации ремонтов	Формирование ограничений и корректировка режимов водоподачи
Прогнозные модели	Определение ожидаемых параметров функционирования системы	Нейронные сети (MLP, LSTM), регрессионные и ансамблевые модели	Формирование входных параметров для задач оптимизации
Алгоритмы многокритериальной оптимизации	Согласование критериев управления	Методы оптимизации, взвешенные критерии	Выбор рациональных управленческих решений
Алгоритмы сценарного анализа и поддержки принятия решений	Формирование и оценка альтернативных вариантов управления	Сценарное моделирование, методы анализа альтернатив	Поддержка принятия управленческих решений

Экономико-математические модели управления водопользованием. Экономико-математические модели управления водопользованием являются базовым элементом модельно-алгоритмического обеспечения цифрового двойника и предназначены для формирования рациональных режимов распределения водных ресурсов между водопользователями в условиях их ограниченности и многокритериального характера задач управления.

В рамках цифрового двойника управления системным водопользованием экономико-математические модели оптимизации включают модели планирования водораспределения и мероприятий технической эксплуатации оросительной системы.

Задача водораспределения рассматривается как задача многокритериальной оптимизации, в которой управляемыми переменными выступают объёмы и режимы водоподачи отдельным водопользователям и по элементам оросительной системы, что позволяет учитывать многокритериальный характер задач управления водопользованием в условиях дефицита водных ресурсов. При этом требуется выполнить согласование экономических, технологических и ресурсных аспектов функционирования системы.

Обобщённая постановка задачи планирования водораспределением может быть представлена в виде оптимизации интегральной целевой функции, отражающей совокупную эффективность водопользования:

$$J = \sum w_k F_k(x) \rightarrow \max_{x \in [f_0]} \quad (3.1)$$

где: $F_k(x)$ – частные критерии эффективности управления водопользованием; w_k – весовые коэффициенты, отражающие приоритеты управления; x – вектор управляемых параметров, характеризующих объёмы и режимы водоподачи.

В качестве частных критериев в модели используются показатели различных аспектов функционирования водохозяйственной системы, включая эколого-экономические результаты деятельности водохозяйственной организации и использования водных ресурсов, а также степень использования орошаемых земель в сельскохозяйственном производстве. Применение интегрального критерия позволяет учитывать разнонаправленные интересы участников водопользования и формировать компромиссные управленческие решения.

Решение задачи оптимизации осуществляется при наличии системы ограничений, отражающих условия функционирования оросительной системы. К числу основных относятся ограничения:

- по доступному объёму водных ресурсов;
- по пропускной способности элементов оросительной сети;
- технологические и эксплуатационные, обеспечивающие допустимые режимы водоподачи.

В составе цифрового двойника использована экономико-математическая модель оптимизации системного водораспределения, ранее реализованная в ИСУ «Водопользование ОС» [1,7].

Система управления предназначена для поддержки планирования и регулирования водопользования на государственных оросительных системах, разработана в рамках исследований отдела Природоохранных

и информационных технологий ФНЦ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» и апробирована в практике эксплуатации водохозяйственных объектов. Результаты апробации подтвердили работоспособность модели и её применимость для решения задач распределения водных ресурсов в условиях дефицита и многокритериальности целей управления [8].

Экономико-математические модели водораспределения функционируют во взаимосвязи с прогнозными моделями и моделями технической эксплуатации, что обеспечивает адаптацию принимаемых решений к изменяющимся условиям водообеспеченности и состоянию инфраструктуры. Прогнозные параметры используются для уточнения потребности в воде и доступных ресурсов, а результаты моделирования технического состояния сети – для учёта ограничений и потерь воды.

Модели технической эксплуатации оросительных систем являются неотъемлемым элементом модельно-алгоритмического обеспечения цифрового двойника и предназначены для учёта влияния технического состояния инфраструктуры на параметры функционирования системы водопользования [9].

Обобщённая структура моделей технической эксплуатации, цифрового двойника управления водопользованием, представлена в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Типы моделей технической эксплуатации оросительных систем

Тип модели	Назначение	Использование в цифровом двойнике
Модели оценки технического состояния	Определение степени износа и работоспособности элементов инфраструктуры	Формирование ограничений на режимы водоподачи
Модели надёжности и отказов	Оценка вероятности отказов и аварийных ситуаций	Анализ эксплуатационных рисков
Модели планирования ремонтно-восстановительных работ	Определение очередности и объёмов ремонтов	Поддержка управленческих решений по эксплуатации
Ресурсно-ограниченные модели эксплуатации	Учет финансовых и материальных ограничений	Оценка реализуемости эксплуатационных сценариев

На первом этапе разработки цифрового двойника реализована модель технической эксплуатации, ориентированная на поддержку принятия решений по приоритетности ремонтно-восстановительных мероприятий и выявлению узких мест водопроводящей оросительной сети. Реализация данной модели

создаёт основу для повышения надёжности водоподачи и снижения потерь воды, а также для последующего развития цифрового двойника в направлении интеллектуального управления техническим состоянием инфраструктуры.

Формализация задачи технической эксплуатации осуществляется в виде оптимизационной модели, аналогичной по структуре модели водораспределения, но отличающейся типом управляемых переменных, составом критериев и экономическим содержанием. В качестве управляемых переменных рассматриваются бинарные переменные $x_i \in \{0,1\}$, отражающие выбор или отказ от реализации отдельных мероприятий технической эксплуатации. Обобщённая постановка задачи может быть представлена в виде:

$$J^{te} = \sum w_k^{te} F_k^{te}(x) \rightarrow \max_{x \in [f_0]} \quad (3.2)$$

где: $F_k^{te}(x)$ – частные критерии, характеризующие эффективность выполнения мероприятия технической эксплуатации; формируются на основе характеристик отдельных объектов технической эксплуатации, описываемых переменными x_i ;

w_k^{te} – весовые коэффициенты;

$x = (x_1, \dots, x_m)$ – вектор управляемых параметров, отражающий выбор объектов технической эксплуатации.

Решение задачи осуществляется при ограничениях по суммарному объёму финансирования мероприятий технической эксплуатации:

$$\sum a_i x_i \leq K \quad x_i \in \{0,1\}, i=1, \dots, m \quad (3.3)$$

где: x_i – переменная, характеризующая выбор i мероприятия технической эксплуатации; a_i – затраты на его реализацию; K – общий объём финансирования.

Критерии эффективности (3.2) формируются с учётом влияния мероприятий технической эксплуатации на параметры функционирования оросительной системы, включая снижение потерь воды, увеличение площади орошения и улучшение экономических результатов деятельности водохозяйственной организации. Интеграция указанных критериев в единую оценочную функцию позволяет учитывать вклад отдельных элементов инфраструктуры в общий результат водопользования.

Несмотря на формальную близость математической записи, модели водораспределения и технической эксплуатации относятся к различным классам задач оптимизации и принципиально различаются типом управляемых

переменных, составом критериев и содержательной интерпретацией получаемых решений.

Аналогично модели водораспределения, в модельно-алгоритмическом контуре цифрового двойника используется решение по планированию мероприятий технической эксплуатации, реализованное и апробированное в ИСУ «Водопользование ОС», постановка и алгоритмическая реализация которого приведены в [1,7,8].

Согласование критериев моделей технической эксплуатации и водораспределения является принципиально важным элементом формирования единого контура управления. В обоих случаях учитываются целевые характеристики функционирования системы – эффективность использования водных ресурсов, экономический результат и уровень использования орошаемых земель, однако на разных уровнях управления. Если в моделях водораспределения данные критерии используются для оптимизации режимов водоподачи, то в моделях технической эксплуатации – для обоснования мероприятий по поддержанию и развитию инфраструктуры. Обобщённо взаимосвязь критериев моделей водораспределения и технической эксплуатации представлена в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Согласование критериев моделей водораспределения и технической эксплуатации

Критерий функционирования оросительной системы	Учет в модели водораспределения	Учет в модели технической эксплуатации
Использование орошаемых земель	Максимизация площади орошаемых земель	Учет площади орошения, обеспечиваемой элементами инфраструктуры
Потери воды в оросительной системе	Учет потерь воды опосредованно через параметры водного баланса и ограничения модели	Прямой учет потерь воды и их снижение при реализации эксплуатационных мероприятий
Экономический результат функционирования системы	Формирование экономического результата водохозяйственной организации	Формирование экономического результата при реализации мероприятий технической эксплуатации
Эффективность функционирования оросительной системы	Обеспечивается за счет оптимизации режимов водораспределения	Обеспечивается за счет повышения надежности и работоспособности инфраструктуры

Интеграция моделей технической эксплуатации в модельно-алгоритмический контур цифрового двойника обеспечивает переход от раздельного рассмотрения процессов водораспределения и технической эксплуатации к их согласованному управлению. Это позволяет учитывать влияние технического состояния оросительной сети на параметры водопользования и формировать более обоснованные управленческие решения в условиях ограниченности ресурсов и износа инфраструктуры.

Экономико-математические модели занимают центральное место в модельно-алгоритмическом обеспечении цифрового двойника, позволяя формирование расчетной основы для реализации процедур планирования и управления водопользованием. Их использование обеспечивает структурированность процесса принятия решений и увязку параметров водораспределения с заданными критериями эффективности. Роль указанных моделей в общей архитектуре цифрового двойника соответствует структуре модельно-алгоритмического обеспечения, представленной в таблице 3.5.

Прогнозные модели и их роль в контуре управления. Прогнозные модели являются важным элементом модельно-алгоритмического обеспечения цифрового двойника и предназначены для определения ожидаемых параметров функционирования оросительных систем в изменяющихся природных и эксплуатационных условиях. Их использование обеспечивает переход от реактивного управления водопользованием к управлению, основанному на прогнозировании состояния системы.

Полученные прогнозные оценки позволяют учитывать возможные изменения водопотребности сельскохозяйственных культур, доступного объема водных ресурсов, потерь воды в оросительной сети и технического состояния элементов инфраструктуры.

К числу основных прогнозируемых параметров, характеризующих ожидаемые условия функционирования оросительных систем (таблица 3.8), относятся:

- потребность сельскохозяйственных культур в оросительной воде;
- водообеспеченность оросительной системы;
- потери воды при транспортировке и распределении;
- показатели технического состояния элементов инфраструктуры;
- ожидаемая урожайность сельскохозяйственных культур.

Таблица 3.8 - Основные параметры прогнозных моделей цифрового двойника

Параметр	Формула определения	Исходные данные	Использование в цифровом двойнике
Прогнозируемая потребность в воде i культуры у j водопользователя D_{ij}	$D_{ij}=S_{ij} \cdot (K_{ij}E_t - P_t)$	Площадь посевов S_{ij} , коэффициент водопотребления K_{ij} , суммарное испарение E_t , осадки P_t	Параметр модели водораспределения
Прогнозируемое суммарное потенциальное испарение $E_t^{\wedge}$	$E_t^{\wedge}=f(T_t, H_t, W_t, SR_t)$	Температура воздуха T_t , относительная влажность H_t , скорость ветра W_t , солнечная радиация SR_t	Расчёт оросительной нормы
Доступный объём водных ресурсов $Q(t)$	$Q(t)=Q_{t-1}+W_t-R_t-L_t$	Запас воды на предыдущий момент времени Q_{t-1} , водозабор W_t , сбросы R_t , потери L_t	Ограничение модели водораспределения
Прогнозируемый водозабор W_t	$W_t=W_n K_w$	Нормативный водозабор W_n , коэффициент водообеспеченности года K_w	Расчёт доступного объёма воды
Коэффициент водообеспеченности года K_w	$K_w=f(P_t, T_t, G_t)$	Осадки P_t , температура T_t , гидрологические характеристики источника G_t	Параметр модели водообеспеченности
Потери воды в j элементе сети L_j	$L_j=k_j Q_j$	Расход воды элемента сети Q_j , коэффициент потерь воды k_j	Уточнение водного баланса
Коэффициент потерь воды k_j	$k_j=k_{j0}(1-TS_j)$	Нормативный коэффициент потерь, показатель технического состояния элемента сети TS_j	Модель технической эксплуатации
Показатель технического состояния элемента сети T_j	$TS_j=w_1 A_j + w_2 Z_j + w_3 R_j$	Возраст сооружения A_j , степень износа Z_j , результаты обследования R_j , весовые коэффициенты w_1, w_2, w_3	Оценка состояния инфраструктуры
Обеспеченность культуры влагой M_i	$M_i=W_i/D_i$	Объём подаваемый воды W_i , потребность культуры в воде D_i	Параметр модели урожайности
Прогнозируемая урожайность культуры Y_i	$Y_i=Y_i^{max}(1-k_i(1-M_i))$	Потенциальная урожайность Y_i^{max} , коэффициент реакции культуры k_i , обеспеченность влагой M_i	Расчёт стоимости продукции

Формирование прогнозных зависимостей осуществляется на основе анализа исторических данных водопользования, метеорологических и гидрологических наблюдений, а также эксплуатационной информации о состоянии оросительных систем. В составе цифрового двойника для решения задач прогнозирования применяются методы машинного обучения, позволяющие выявлять сложные нелинейные зависимости между параметрами функционирования системы и внешними факторами [10].

В частности, для прогнозирования водопотребности сельскохозяйственных культур используются многослойные нейронные сети прямого распространения, обеспечивающие учёт влияния агрометеорологических параметров и характеристик сельскохозяйственных культур. Прогноз водообеспеченности оросительных систем осуществляется с применением моделей анализа временных рядов, включая рекуррентные нейронные сети, позволяющие учитывать сезонную динамику формирования водных ресурсов. Для оценки потерь воды и технического состояния инфраструктуры используются регрессионные и ансамблевые методы машинного обучения, обеспечивающие выявление зависимостей между параметрами эксплуатации и состоянием элементов оросительной сети.

Прогнозные модели обеспечивают динамическое обновление параметров управления водопользованием и формируют основу для реализации упреждающих стратегий управления, повышающих эффективность функционирования оросительных систем в условиях неопределённости и дефицита водных ресурсов. Это позволяет повысить точность оценки параметров водопользования по сравнению с традиционными расчетными методами [11].

Алгоритмическое обеспечение и логика функционирования цифрового двойника. Алгоритмическое обеспечение цифрового двойника управления водопользованием реализует согласованное функционирование моделей, входящих в его состав. Его назначение состоит в организации последовательности вычислительных процедур, включающих обработку данных, прогнозирование параметров функционирования системы, решение задач оптимизации и анализ альтернативных сценариев управления.

В составе цифрового двойника алгоритмическое обеспечение формирует замкнутый цикл обработки информации, включающий несколько взаимосвязанных этапов. На первом этапе осуществляется сбор и подготовка исходных данных, характеризующих природные условия, параметры водопользования и техническое состояние оросительной системы. Данный этап

включает проверку корректности данных, их нормирование и формирование расчетной базы.

На втором этапе реализуются алгоритмы прогнозирования, обеспечивающие определение ожидаемых параметров функционирования системы. В результате формируются оценки водопотребности сельскохозяйственных культур, доступного объема водных ресурсов, потерь воды в оросительной сети и других показателей, используемых в дальнейших расчетах.

На третьем этапе выполняется решение задач многокритериальной оптимизации, направленных на формирование рациональных режимов водораспределения и обоснование мероприятий технической эксплуатации. На данном этапе обеспечивается согласование экономических, технологических и ресурсных критериев управления, а также учёт ограничений, обусловленных водообеспеченностью и состоянием инфраструктуры.

На завершающем этапе реализуются алгоритмы сценарного анализа и поддержки принятия решений, позволяющие формировать и сопоставлять альтернативные варианты управления водопользованием при различных условиях функционирования системы. Это обеспечивает возможность выбора управленческих решений, наиболее полно соответствующих заданным целям и ограничениям.

В обобщённом виде функционирование алгоритмического контура цифрового двойника может быть представлено зависимостью

$$U=A(O(P(D))) \quad (3.4)$$

где: D – совокупность исходных данных цифрового двойника (метеорологические, гидрологические, эксплуатационные и экономические параметры); $P(\cdot)$ – алгоритмы прогнозирования, преобразующие исходные данные в прогнозные оценки параметров системы; $O(\cdot)$ – алгоритмы многокритериальной оптимизации режимов водораспределения и технической эксплуатации; $A(\cdot)$ – алгоритмы сценарного анализа и поддержки принятия решений; U – множество формируемых управленческих решений.

Представленная зависимость отражает поэтапное преобразование исходной информации в управленческие воздействия в составе цифрового двойника. Такая структура обеспечивает согласованное использование прогнозных, оптимизационных и аналитических процедур, что позволяет учитывать изменчивость внешних условий и многокритериальный характер задач управления.

Таким образом, разработанный модельно-алгоритмический контур цифрового двойника позволяет обеспечить интеграцию моделей водораспределения, технической эксплуатации и прогнозирования в едином расчетном контуре и формировать обоснованные управленческие решения, направленные на повышение эффективности использования водных ресурсов и надежность функционирования оросительных систем в условиях их ограниченности.

Список использованных источников

1. Рогачев, Д. А. Цифровая трансформация управления техническим состоянием оросительной системы / Д. А. Рогачев // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2025. – № 2. – С. 60-68. – DOI 10.31857/S2500208225020132. – EDN HVEQTV.
2. Шевченко В.А., Исаева С.Д. Современные подходы к управлению водопользованием в мелиорации // Водное хозяйство России. – 2022. – № 4. – С. 45–52.
3. Tao F., Zhang M., Liu Y., Nee A.Y.C. Digital twin driven product design, manufacturing and service with big data // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2018. – Vol. 94. – P. 3563–3576.
4. Fuller A., Fan Z., Day C., Barlow C. Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 108952–108971.
5. Ghorbani Bam P. et al. Digital Twin Applications in the Water Sector: A Review //Water. – 2025. – Vol. 17. – No. 20. – P. 2957.
6. Зекри С., Жабер Н., Гаррад Х. Интеллектуальное управление водными ресурсами с использованием интеллектуальных цифровых двойников // Вычислительная техника и информатика. – 2022. – Т. 41. – № 1. – С. 135–153.
7. Кирейчева Л.В., Рогачёв Д.А. Цифровые технологии в управлении водопользованием на оросительных системах // Природообустройство. – 2023. – № 4. – С. 6–13.
8. Кирейчева Л.В., Рогачёв Д.А., Хисматуллин М.М. Подходы к созданию цифрового двойника управления водопользованием // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2024. – № 5. – С. 58–64.
9. Зверьков М.С., Смелова С.С., Булгакова Т.Г. Цифровой двойник гидромелиоративной системы на этапе эксплуатации // Природообустройство. – 2023. – № 5. – С. 6–12.
10. Batarseh F. A. et al. ACWA: An AI-driven cyber-physical testbed for intelligent water systems //Water Practice & Technology. – 2023. – Т. 18. – №. 12. – С. 3399-3418.
11. Ольгаренко В. И. и др. Функции планирования водопользования на оросительных системах с использованием современных IT-технологий //Мелиорация и водное хозяйство. – 2025. – №. – С. 34-40.

References

1. Rogachev, D. A. Digital Transformation of Irrigation System Technical Condition Management / D. A. Rogachev // Bulletin of Russian Agricultural Science. – 2025. – No. 2. – Pp. 60-68. – DOI 10.31857/S2500208225020132. – EDN HVEQTV.
2. Shevchenko V.A., Isaeva S.D. Modern approaches to water use management in land reclamation // Water Sector of Russia. – 2022. – No. 4. – P. 45–52.

3. Tao F., Zhang M., Liu Y., Nee A.Y.C. Digital twin driven product design, manufacturing and service with big data // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2018. – Vol. 94. – P. 3563–3576.
4. Fuller A., Fan Z., Day C., Barlow C. Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research // *IEEE Access*. – 2020. – Vol. 8. – P. 108952–108971.
5. Ghorbani Bam P. et al. Digital Twin Applications in the Water Sector: A Review // *Water*. – 2025. – Vol. 17. – No. 20. – P. 2957.
6. Zekri S., Jabeur N., Garrad H. Intelligent water resource management using smart digital twins // *Computer Science and Informatics*. – 2022. – Vol. 41. – No. 1. – P. 135–153.
7. Kireycheva L.V., Rogachev D.A. Digital technologies in water use management in irrigation systems // *Prirodoobustroystvo*. – 2023. – No. 4. – P. 6–13.
8. Kireycheva L.V., Rogachev D.A., Khismatullin M.M. Approaches to the development of a digital twin for water use management // *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. – 2024. – No. 5. – P. 58–64.
9. Zverkov M.S., Smelova S.S., Bulgakova T.G. Digital twin of a hydraulic reclamation system at the operation stage // *Prirodoobustroystvo*. – 2023. – No. 5. – P. 6–12.
10. Batarseh F.A. et al. ACWA: An AI-driven cyber-physical testbed for intelligent water systems // *Water Practice & Technology*. – 2023. – Vol. 18. – No. 12. – P. 3399–3418.
11. Olgarenko V.I. et al. Planning functions of water use in irrigation systems using modern IT technologies // *Melioration and Water Management*. – 2025. – No. 1. – P. 34–40.

3.10 К ВОПРОСУ УСТАНОВЛЕНИЯ ГРАНИЦ ВОДНОГО ОБЪЕКТА ДЛЯ ОСУШЕННЫХ БОЛОТ

Болота как поверхностные водные объекты в российском законодательстве рассматриваются относительно недавно и не все нюансы, связанные с использованием и охраной водных ресурсов с учетом их специфики, получили практическую реализацию. В статье 5 Водного кодекса Российской Федерации №74-ФЗ от 03.06.06 г. (далее – ВК РФ), указано, что береговая линия (граница водного объекта) для болота определяется по границе залежи торфа на нулевой глубине [1]. Но почти два десятилетия правоприменительная практика сталкивается с противоречивыми трактовками, как со стороны контролирующих органов, так и водопользователей, относительно установления береговой линии для данного типа водных объектов и межевании земельных участков разного назначения. Особенно ярко это проявляется для осушенных болот, которые разделены на земельные участки, отнесенные к разным категориям земель, что определяет допустимые виды хозяйствования. В ВК РФ и подзаконных актах нет разъяснений, является ли осушенное болото, потерявшее признаки гидрологического режима, водным объектом или нет, а также распространяются ли на уже осушенные болота положения пункта 4 статьи 57 ВК РФ: «При добыче торфа и других полезных ископаемых болото или его часть может утрачивать режим водного объекта в результате полной или частичной выработки торфа,

полной или частичной замены его материалами естественного или техногенного происхождения, в том числе подстилающими болото отложениями. После окончания использования болота или его части проводится их рекультивация преимущественно путем обводнения и искусственного заболачивания». Реализация последнего пункта для давно осушенных болот чаще всего экономически и экологически нецелесообразна и неприемлема для землепользователей.

В ВК РФ отсутствует определение болот и в этой сфере используется терминология по ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения» и ГОСТ 21123-85 «Торф. Термины и определения», которых содержат расшифровку термина «нулевая глубина (нулевая граница)» и определяют отличия между торфяным болотом и заболоченной землей. На практике возобладал утилитарный подход по использованию терминологии:

1) болото должно иметь толщину торфяной залежи не менее 0,3 м в неосушенном состоянии;

2) граница болота как водного объекта принимается как граница торфяного месторождения, если оно когда-либо было внесено в территориальный баланс запасов общераспространенных полезных ископаемых (далее – ТБЗ ОПИ).

Ориентация на наличие промышленной залежи - надежная основа в период официального существования торфяного месторождения, но не дает ответа при изменении ситуации, когда запасы торфа полностью или частично списываются по ряду причин, определивших нецелесообразность сохранения его в ТБЗ ОПИ. Исключение торфяного месторождения из запасов общераспространенных полезных ископаемых обозначает его ликвидацию. Еще более проблемно отнесение торфяного месторождения к водным объектам, если оно занимает осушенное болото (торфяник): запасы торфа есть в наличии, но отсутствует насыщение водой, отсутствует специфическая болотная растительность, покрывающая большую часть земной поверхности в естественном состоянии и так далее.

В настоящее время наиболее полноценным и всеобъемлющим определением болота среди гидрологов считается определение, содержащееся в «Методических указаниях по расчетам стока с неосушенных и осушенных болот» СТО ГГИ 08.30-2011 [7]: «Болото - часть земной поверхности, характеризующаяся обильным застойным или слабо приточным увлажнением верхнего горизонта почвогрунтов, на котором произрастает специфическая болотная растительность, наличием процесса торфонакопления и толщиной слоя торфа, при котором корни основной массы растений не достигают подстилающего минерального грунта». Иными словами, болото - водный объект,

расположенный на части земной поверхности, на которой одновременно наблюдаются четыре признака (критерия):

- 1) застойное или слабoproточное увлажнение почвогрунтов;
- 2) наличие специфической болотной растительности;
- 3) наличие процесса торфонакопления;
- 4) наличие слоя торфа, при котором корни растений не достигают до подстилающего минерального дна.

Исходя из этого осушенные болота или их обособленные участки, на которых прекращен процесс торфонакопления, де-факто должны выпадать из перечня водных объектов. Но осушенное болото (торфяник) может быть вновь отнесено к водным объектам, если процесс торфонакопления на нем восстановился в результате повторного заболачивания естественным или искусственным путем. Последний момент в нормативно-правовой базе четко не отражен и трактуется произвольно.

В этом отношении более полезным является опыт Республики Беларусь, где законом № 272-З от 18.12.2019 г. «Об охране и использовании торфяников» четко разграничены затрагиваемые понятия и торфяное месторождение не идентично понятиям болота как водного объекта с принципиальным разделением естественных, нарушенных и осушенных болот (земель), включая повторно заболачиваемые торфяники [5]. Такое разделение позволяет более обоснованно проводить выделение текущих границ болот как водных объектов, учитывая степень нарушения гидрологического режима конкретных объектов.

Согласно Постановления Правительства РФ от 29.04.2016 № 377 местоположение береговой линии (границы водного объекта) может определяться как в отношении всего водного объекта, так и его части. Закрепленные в сведениях геологических фондов границы торфяного месторождения могут приниматься в качестве первоначальной границы береговой линии, при этом торфяное месторождение может включать в себя как болота (естественные, нарушенные, повторно заболоченные), сохранившие признаки водного объекта, так и осушенные болота, потерявшие основные признаки болота как водного объекта, кроме наличия остаточного торфа [9].

Осушенные болота, не подвергнутые повторному заболачиванию, де-факто не являются водными объектами и часть, ими занятая, исключается из устанавливаемых границ болота. Иначе говоря, осушенные болота, на которых расположены сельскохозяйственные угодья и земли другого назначения необходимо вносить в Государственный водный реестр (далее – ГВР), заключать договора на водопользование, что нецелесообразно как

с социально-экономической, так и с правовой точек зрения из-за повышения социальной напряженности. Кроме того, это противоречит положениям пункта 2 статьи 102 Земельного кодекса от 25.10.2001 N 136-ФЗ.

Однако исключение осушенных земель из состава болота не имеет соответствующего регламента. Критерий глубины нулевой торфяной залежи не является универсальным: торф наличествует и в болоте, и на осушенных землях. Но других критериев пока не предложено. Использование отдельных показателей гидрологических, ботанических и гидрохимических характеристик осушенных и естественных болот, предлагаемых в научных публикациях, недостаточно проработаны.

Установление границы болота по нулевой глубине торфяной залежи весьма условно и может варьировать в широком коридоре, как по профилю зондирования, так и по границе болотного массива. Нулевая граница торфяной залежи является «плавающей» и часто принимается условно. Глубина торфяной залежи соответствует мощности торфяных отложений без травяно-кустарничкового очеса, от поверхности мохового покрова до минерального грунта. Но, если моховой покров отсутствует, негласно считается, что процесс торфонакопления отсутствует или торф погребенный. Таким образом критерий мощности торфозалежи не является универсальным, как и расположение его критической величины.

В связи с этим считаем, что при исключении осушенной части болота, при установлении границ болот целесообразно использовать дополнительные критерии, привязанные к трем основным составляющим болото образовательного процесса: воды, специфической болотной растительности и торфа.

Научными исследованиями установлено, что постоянный или периодический отток воды с деятельного слоя является обязательным условием торфонакопления, возможен при уровнях болотных вод в центральной части массива не ниже 25 см. Если уровень болотных вод ниже 25 см, отсутствуют условия для торфонакопления и процесс прекращается.

Территориальное разграничение болота на отдельные сегменты можно проводить на основании анализа: 1) структуры водоотводящих каналов, оконтуривающих осушенные участки; 2) имеющихся линейных сооружений, проходящих через болото или по его периферии (насыпи автомобильных, железных дорог и тому подобное); 3) суходольных бровок обводненных торфяных карьеров; 4) территории торфяника под застройкой, сельскохозяйственными угодьями, инфраструктурой, а также покрытыми слоем

насыпного грунта любого происхождения (антропогенный/техногенный слой), препятствующих росту болотных растений.

Индикатором расположения границы может быть выявленная сукцессия или степень угнетения болотных растений: на естественном болоте сохраняется типовая растительность, на осушенном сукцессия растений и не наблюдается торфонакопление.

Последние десятилетия при рассмотрении любых вопросов, касающихся землепользования на осушенных болотах, преобладает взгляд на обязательное восстановление болота без учета реальности этого мероприятия и времени, необходимого для восстановления минимальных запасов торфа. Эти моменты императивно закреплены в пункте 4 статьи 57 ВК РФ: «После окончания использования болота или его части проводится их рекультивация преимущественно путем обводнения и искусственного заболачивания» [1]. Однако требование проведения рекультивации давно осушенных торфяников, утративших признаки болота, в большинстве случаев нерентабельно и нецелесообразно по ряду причин: «ничейность» осушенных земель или их современная принадлежность собственнику, не связанному с предшествующей отработкой и осушением болота, неопределенность с выгодоприобретателем, источник финансирования и так далее. Императивное требование рекультивации осушенных болот носит эмоционально-публицистический характер без сопутствующей объективно-экономической оценки. Но, безусловно, следует восстанавливать осушенные торфяники, входящие в состав особо охраняемых природных территорий (далее – ООПТ).

Универсальной стратегии проведения повторного увлажнения осушенных торфяников не выработано, но опытным путем установлены главные технические критерии для потенциального повторного заболачивания:

- 1) Наличие избыточной природной воды на участке потенциального повторного заболачивания или возможности ее подачи на него: определяемые климатическими условиями, состоянием торфяника, а также особенностями топографии и гидрографии самого осушенного торфяника и прилегающей местности.

- 2) Текущее землепользование на осушенном болоте и на прилегающих земельных участках. Если повторное заболачивание требует реорганизации землепользования в пределах осушенного болота и прилегающих земель, необходимо провести оценку целесообразности и затрат для заинтересованных сторон: без согласия собственников повторное заболачивание проводить не рекомендуется.

3) Для достижения желаемого устойчивого повторного заболачивания среднегодовой уровень воды должен быть поднят близко к поверхности не менее, чем на 80% площади торфяника. Но при существенном изменении рельефа в результате оседания, минерализации, пожаров, активной добычи торфа экскаваторным способом, особенностей топографии прилегающих склонов установление требуемого уровня воды невозможно: площади участков с избыточной глубиной и с недостатком увлажнения препятствуют развитию болотной растительности и постепенной сукцессии с самоподдерживающимся торфонакопительным процессом.

4) При зарастании осушенного торфяника древесной растительностью усиливается суммарное испарение с болота за счет увеличения эвапотранспирации, что требует большего количества избыточной воды для поддержания постоянного переувлажнения.

Оценка текущего состояния трансформированного торфяника является одним из обязательных шагов при определении целесообразности его восстановления и, как следствие, последующего отнесения к водным объектам.

Проведенный анализ действующих нормативно-правовых и методических документов показал противоречивость положений российского законодательства касательно болот как водных объектов, в том числе при установлении их границ (координат береговой линии). Осушенные болота могут относиться к водным объектам при условии повторного заболачивания и восстановления процесса торфонакопления, или исключены из состава водных объектов при заключении о невозможности или нецелесообразности восстановления болота по техническим или социально-экономическим причинам.

Если болото, в результате предшествующей хозяйственной деятельности, было разделено на обособленные (изолированные) участки, гидравлически несвязанные или связанные периодически, и отличающиеся друг от друга современным состоянием по нескольким из четырех основным признаков (обильное увлажнение верхнего слоя почвогрунтов, специфическая болотная растительность, наличие процесса торфонакопления и наличие торфа, превышающего длину корней основной массы растений), то их следует рассматривать отдельно.

В связи с отсутствием четкого регламента установления границ болота как водного объекта, на практике предлагается использование следующей поэтапной схемы при условии, что болото как водный объект формально внесено в ГВР.

Первый этап. Границы болота приравниваются к границам одноименного торфяного месторождения, установленным и закрепленным в установленном

порядке в каталоге торфяного фонда территории. Первичной границей может быть либо граница нулевой глубины торфяной залежи, либо уточненная граница производственной торфяной залежи за исключением списанных участков, участков, перекрытых техногенным слоем или изъятием площадей под сельхозугодья и иные категории земли и так далее.

Второй этап. Если торфоместорождение включало в себя участки естественного и осушенного болота, то проводится оценка текущего состояния торфяника или его обособленной части по основным признакам существования болота (обильное увлажнение верхнего слоя почвогрунтов, специфическая болотная растительность, наличие процесса торфонакопления и наличие толщи торфа, превышающий длину корней основной массы растений). Если оценка показала, что рассматриваемое торфяное месторождение или его участок имеют в наличии все основные признаки существования болота, то границы болота принимаются идентичными границам торфоместорождения за вычетом площадей списанных участков в связи с исчерпанием запасов торфа, перекрытием техногенным слоем и признанных осушенными землями.

Третий этап. Оценка возможности и целесообразности повторного заболачивания (восстановления) осушенных земель. Если отсутствует возможность, необходимость и целесообразность повторного заболачивания (восстановления) осушенного болота, то этот участок не включается в границы болота как водного объекта. Если оценка показала наличие возможности восстановления болота или его участка, то границы его как водного объекта принимаются равными границам торфяного месторождения за вычетом вышеуказанных участков (исчерпание запасов торфа и пр.). Для принятия решения об исключении того или иного участка осушенного болота из его потенциальных границ отталкиваясь от целесообразности его восстановления до условного естественного состояния используются следующие критерии:

- наличие избыточной воды в течение минимум теплого периода;
- подъем уровня до оптимальных значений на 80% осушенного торфяника или его сегмента;
- наличие/отсутствие древесно-кустарниковой растительности, достигающей подстилающего минерального грунта;
- текущее землепользование (отсутствие или наличие конфликта интересов).

Список использованных источников

1. Водный кодекс Российской Федерации №74-ФЗ от 03.06.2006 г.
2. ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения»
3. ГОСТ 21123-85 «Торф. Термины и определения»

4. Громадская Е.И., Таврыкина О.М. Критерии выделения категории сильно измененных поверхностных водных объектов в Республике Беларусь на основе анализа международного опыта// Водное хозяйство России № 6, 2023 стр.21-32.
5. Закон Республики Беларусь «Об охране и использовании торфяников» № 272-З от 18.12.2019 г.
6. Методические указания по производству детальным поисков торфяных месторождений / под ред. Н.Т. Короля, В.Д. Маркова, А.В. Предтеченского. М.: Торфгеология, 1984.
7. Методические указания по расчетам стока с неосушенных и осушенных болот. СТО ГГИ 08.30-2011, ФГБУ ГГИ, СПб, 2013.
8. Панов В.В., Токарев С.В., Женихов Ю.Н. Методические особенности разведки месторождений торфа в соответствии с целями их использования. Труды ИнТорфа. 2018.
9. Постановление Правительства РФ от 29.04.2016 № 377 "Об утверждении Правил определения местоположения береговой линии (границы водного объекта), случаев и периодичности ее определения и о внесении изменений в Правила установления на местности границ водоохранных зон и границ прибрежных защитных полос водных объектов"
10. Порядок постановки запасов полезных ископаемых на государственный баланс и списания с государственного баланса (утв. приказом МПР РФ от 06.09.2012 г. № 265).

References

1. Water Code of the Russian Federation No. 74-FZ dated 06/03/2006
2. GOST 19179-73 "Hydrology of the land. Terms and definitions"
3. GOST 21123-85 "Peat. Terms and definitions"
4. Gromadskaya E.I., Tavrykina O.M. Criteria for distinguishing the category of highly modified surface water bodies in the Republic of Belarus based on the analysis of international experience// Russian Water Industry No. 6, 2023, pp. 21-32.
5. The Law of the Republic of Belarus "On the Protection and Use of peat Bogs" No. 272-Z dated 12/18/2019.
6. Methodological guidelines for the production of detailed searches of peat deposits / edited by N.T. Korol, V.D. Markov, A.V. Predtechensky. Moscow: Torfgeologiya, 1984.
7. Methodological guidelines for calculating runoff from non-drained and drained marshes. SRT GGI 08.30-2011, FSBI GGI, St. Petersburg, 2013.
8. Panov V.V., Tokarev S.V., Zhenikhov Yu.N. Methodological features of exploration of peat deposits in accordance with the purposes of their use. The works of Intorf. 2018.
9. Decree of the Government of the Russian Federation dated 04/29/2016 No. 377 "On Approval of the Rules for Determining the Location of the Coastline (Boundary of a Water Body), the Cases and Frequency of its Determination and on Amendments to the Rules for Establishing the Boundaries of Water Protection Zones and the Boundaries of Coastal Protective Strips of Water bodies"
10. The procedure for setting mineral reserves on the State Balance sheet and Writing off from the state balance sheet (approved by Order of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation dated 09/06/2012, No. 265).

3.11 ИЗМЕНЕНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ОРОШАЕМОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН И ИХ ВЛИЯНИЕ НА МЕЛИОРАЦИЮ

Главными факторами природной среды, определяющими состояние и развитие сельскохозяйственного производства, является соотношение ресурсов тепла и влаги (агроклиматические ресурсы). С последней четверти XX в. наблюдают потепление климата с увеличением средней температуры в приземном слое воздуха и ростом годовой суммы осадков, хотя в условиях ряда регионов России отмечено их уменьшение [3, 5]. Оценка агроклиматических ресурсов и их возможных изменений в применении к анализу состояния и развития агропромышленного комплекса, является весьма важной задачей.

На современном этапе в сельском хозяйстве наблюдается нарастающая деградация агросистем и водных объектов, что значительно повышает роль мелиорации для устойчивого и высокопродуктивного развития сельского хозяйства [2]. Однако экономически эффективное развитие агропромышленного комплекса России в значительной мере зависит от наличия водных ресурсов, необходимых для сельскохозяйственного водоснабжения, а также технического состояния мелиоративно-водохозяйственного комплекса, предназначенного для обеспечения рационального водопользования при орошении и обводнении [4].

Обеспечение водными ресурсами в основном определяется количеством выпадающих осадков, но по сумме осадков отмечаются различные тенденции изменения их количества по периодам и в целом за год [7]. А в процессе климатических изменений, особенно в зоне недостаточного увлажнения, увеличивается засушливость климата, испаряемость в летний период вследствие высоких температур, наблюдается внутригодовое перераспределение режима выпадения осадков и формирование речного стока [8].

Поэтому для определения направлений развития орошаемого земледелия в Республике Дагестан необходимо изучить тенденции изменения погодных условий, что позволит в дальнейшем планировать применение агротехнических приемов возделывания сельскохозяйственных культур при орошении.

Цель исследований заключалась в установлении тенденций изменения температуры воздуха, суммы активных температур, осадков и гидротермического коэффициента увлажнения в орошаемой зоне Республики Дагестан, начиная с 1966 года прошлого века, для выявления факторов внешней среды, влияющих на развитие сельскохозяйственной мелиорации.

Изучение тенденций изменения климата за 1966-2025 гг. проводились на основе данных метеостанции Махачкала, расположенной в типичных условиях Терско-Сулакской низменности - основного района орошаемого земледелия Республики Дагестан. Для сравнения использовали

предшествующий многолетний период, отраженный в агроклиматическом справочнике 1963 года [1]. Объектом исследований служили гидротермические условия (температура воздуха, количество осадков, сумма активных температур и гидротермический коэффициент), сложившиеся за год и за период вегетации (с температурой выше $+10^{\circ}\text{C}$ весной и через $+10^{\circ}\text{C}$ осенью в сторону понижения). Для статистического анализа и построения графиков использовали компьютерные программы Microsoft Excel и Statistika.

Анализ динамики среднегодовой температуры воздуха ($T_{\text{ср.год.}}$) показал, что за период 1966-2025 гг. отмечено ее увеличение (рис. 3.10).

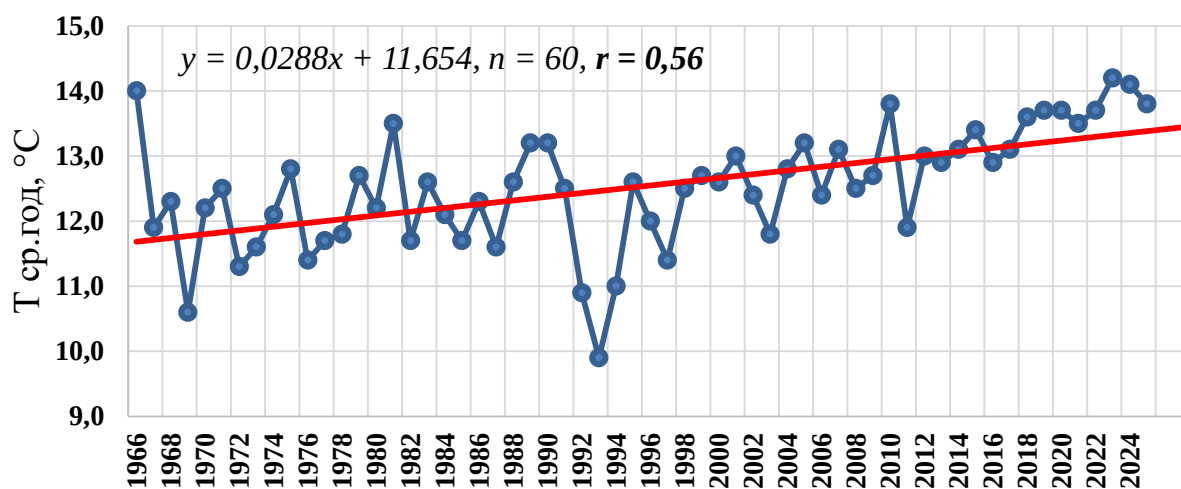


Рисунок 3.10 - Динамика среднегодовой температуры воздуха $T_{\text{ср.год}}$

Значение $T_{\text{ср.год.}}$ за исследуемый период изменяется в пределах от $9,9^{\circ}\text{C}$ (1993 г.) до $14,2^{\circ}\text{C}$ (2023 г.) при средней многолетней величине среднегодовой температуры воздуха $12,5^{\circ}\text{C}$. Среднемноголетнее значение $T_{\text{ср.год.}}$ за предшествующий период составляло $11,6^{\circ}\text{C}$, то есть превышение составило $0,9^{\circ}\text{C}$. Однако особенно заметен последовательный рост среднегодовой температуры воздуха за последние 10 лет (2016-2025 гг.), за которые она повысилась в среднем до $13,6^{\circ}\text{C}$ или на $1,3^{\circ}\text{C}$ по сравнению с периодом 1966-2015 гг.

Очень важен анализ температурного режима в период вегетации, особенно для оросительных мелиораций (рис. 3.11).

Анализ динамики температуры воздуха за период вегетации ($T_{\text{ср.вег.}}$) показывает, что по сравнению со среднемноголетними значениями она в 1966-2025 гг. выросла на $0,5^{\circ}\text{C}$ – с $18,4$ до $18,9^{\circ}\text{C}$, а за последние 10 лет – на $1,5^{\circ}\text{C}$.

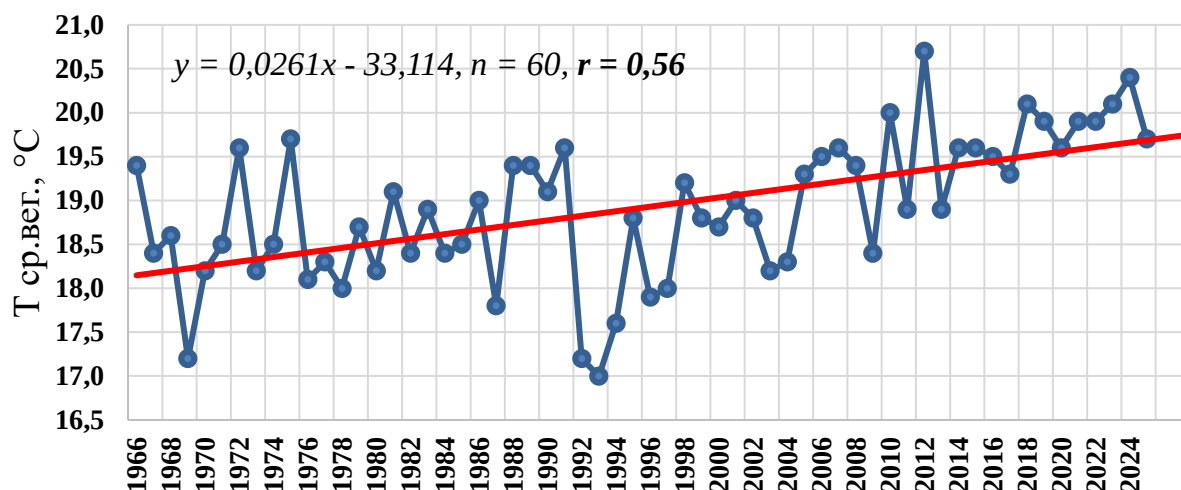


Рисунок 3.11 - Динамика среднесуточной температуры воздуха за вегетацию

Важным показателем теплообеспеченности территории являются сумма среднесуточных температур воздуха выше 10°C ($\sum T_{>10}$), так называемые активные температуры, которые определяют потребность растений в тепле. Данная величина необходима для созревания хозяйственного урожая культур. В результате анализа температурного режима подсчитаны суммы активных температур (рис. 3.12).

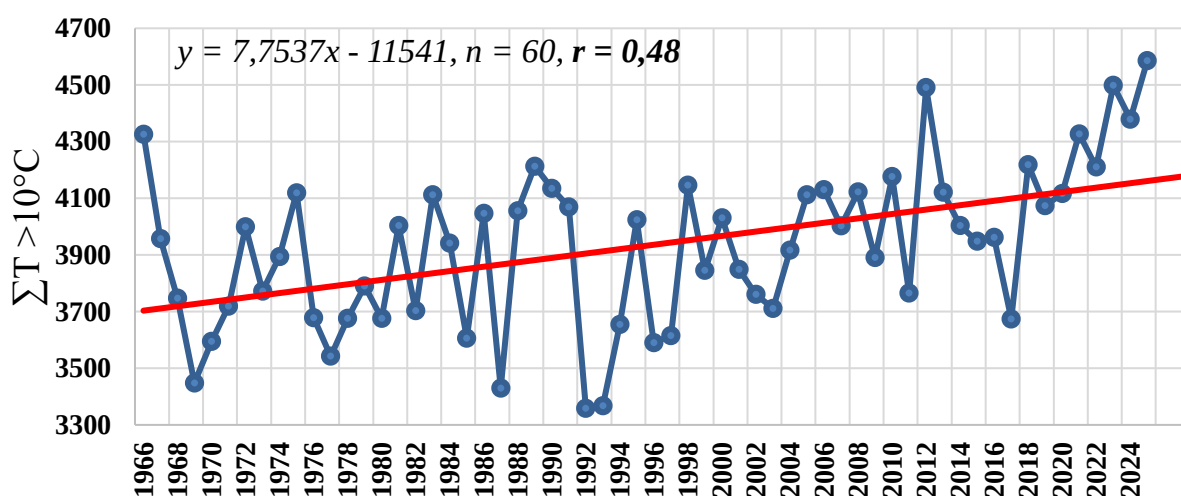


Рисунок 3.12 - Динамика сумм активных температур за период вегетации

За анализируемый период значение $\sum T_{>10}$ в среднем составило 3934°C , а амплитуда сумм активных температур колебалась в пределах от 3367 (1993 г.) до 4585°C (2025 г.) при среднемноголетнем значении – 3768°C . Особенно заметен рост $\sum T_{>10}$ за последнее десятилетие, когда она возросла в среднем до 4204°C .

При изучении температурных характеристик орошаемой зоны Терско-Сулакской низменности выявлена достоверная тенденция потепления, как

в течение года, так и за период вегетации. Анализ даты перехода среднесуточной температуры воздуха через $+10^{\circ}\text{C}$ показал, что продолжительность периода накопления активных температур увеличилась со 194 дней по среднемноголетним значениям, до 200 дней – за период 1966-2025 гг. Повышенная теплообеспеченность за 2016-2025 гг. привела к удлинению вегетационного периода до 211 дней, то есть на 17 дней больше среднемноголетних значений, при этом основное удлинение происходило за счет осеннего периода вегетации.

При исследовании динамики атмосферных осадков рассматривались сумма осадков за год ($P_{\text{год}}$), вегетационный ($P_{>10}$) и вневегетационный периоды ($P_{<10}$). На рисунках 3.13 и 3.14 показана динамика $P_{\text{год}}$ и $P_{>10}$.

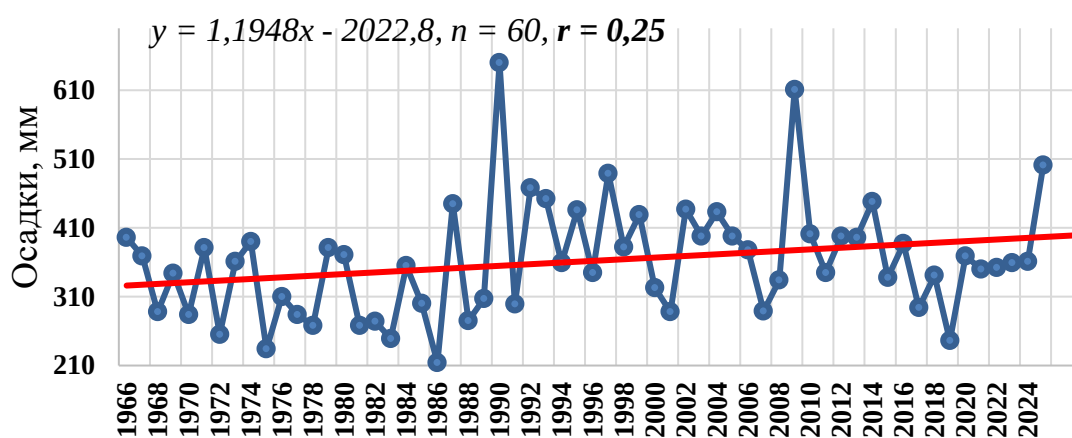


Рисунок 3.13 - Динамика сумм осадков за год $P_{\text{год}}$

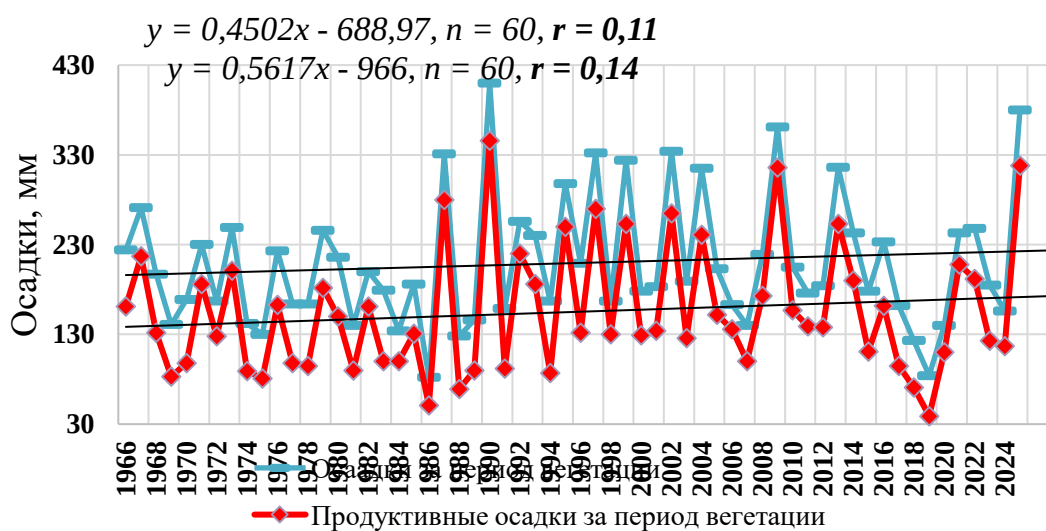


Рисунок 3.14 - Сумма осадков за период вегетации

Значение суммы осадков за исследуемый период изменялось в широком диапазоне – от 214 мм (1986 г.) до 650 мм (1990 г.) при среднемноголетней сумме 363 мм, что на 67 мм или 84,4% меньше от среднемноголетнего значения.

За вегетационный период выпало 209 мм осадков, что составило 86,0% от нормы и 57,5% от годовой суммы, а на вневегетационный (холодный) период приходилось 42,5% от $P_{\text{год}}$. В отличие от температурных показателей, количество осадков, выпавших за последние 10 лет, практически не отличалось от среднееголетних значений изучаемого 60-летнего периода.

В мелиорации при расчете режима орошения учитывается количество продуктивных осадков за вегетационный период, то есть количество осадков, выпавших в объеме более 5 мм. В этой связи, за вегетационный период выпало всего 155 мм продуктивных осадков, что составило 42,7% от годовой суммы и свидетельствует об увеличении засушливости климата (рисунок 3.14).

Среди условных показателей влагообеспеченности территории в вегетационный период широко используется гидротермический коэффициент увлажнения Г.Т. Селянинова (ГТК), который рассчитывается по отношению суммы осадков за период с температурой воздуха за период с температурой выше 10°C к $\sum T_{>10}$ за тот же период. Результаты расчетов ГТК за исследуемый период отражены на рисунке 3.15.

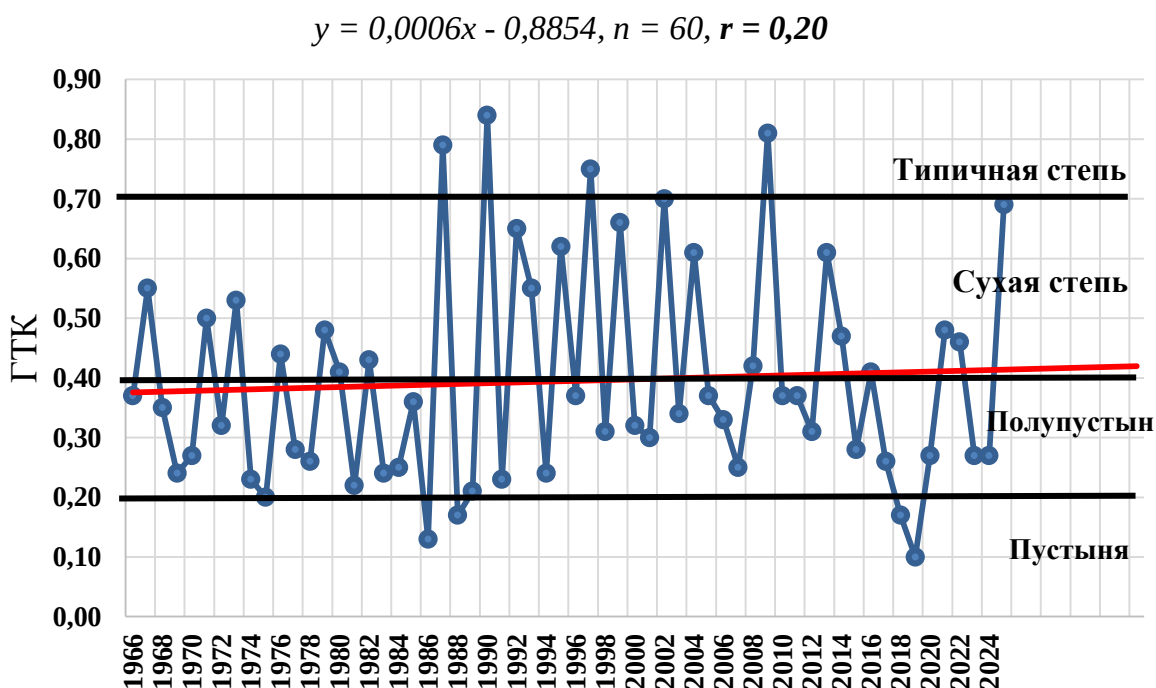


Рисунок 3.15 - Гидротермический коэффициент за период вегетации

Среднееголетнее значение ГТК составило 0,53 при среднееголетней норме 0,65, что свидетельствует об усиливающейся аридизации орошаемой зоны республики. Анализ значений ГТК за временной интервал 1966-2025 гг. показал широкий диапазон его изменения – от 0,21 (2019 г.) до 0,99 (1990 г.), что свидетельствует о высокой межгодовой изменчивости ГТК. За рассматриваемый временной интервал в 15 случаях влагообеспеченность соответствовала зоне

полупустынь, в 34 случаях – зоне сухих степей, в 11 случаях – зоне степей. С учетом количества продуктивных осадков, выпавших за период вегетации, ситуация резко меняется, так как в 32 случаях влагообеспеченность соответствует зоне полупустынь и в 4 случаях – зоне пустынь, а это 60% рассматриваемого временного интервала. Это позволяет сделать общий вывод об аридном потеплении орошаемой зоны за период 1966-2025 гг. и об увеличении климатических рисков при ведении орошаемого земледелия.

В этой ситуации сельскохозяйственная мелиорация – один из главных приемов интенсификации и стабилизации сельскохозяйственного производства, гарантирующих выращивание экономически целесообразного урожая при любых погодных условиях, предотвращение неблагоприятного воздействия климатических изменений и повышение устойчивости агропромышленного комплекса. В связи с этим перед мелиорацией Республики Дагестан стоят следующие задачи:

- **на ближайшую перспективу (до 2030 г.):**

- полный переход на капельное орошение овощных культур, садов и виноградников, это позволит снизить оросительные нормы в среднем на 40...60%, что важно в условиях нарастающего дефицита пресной воды;

- в связи с резким сокращением вековых запасов воды в ледниках и снежниках Дагестана (их площадь по сравнению с 1965 г. уменьшилась более чем в 2 раза), необходимо оперативное решение по строительству в бассейне р. Терек водохранилищ емкостью около 120 млн. м³ для задержания наносов и создания регулирующих емкостей на период маловодья. Это крайне необходимо, так как в бассейне р. Терек расположено более 80% рисовых оросительных систем, а в период посева и затопления риса наблюдается дефицит воды. Кроме этого, чрезмерная мутность р. Терек приводит к заилению магистральных и межхозяйственных каналов рисовых систем, что вынуждает поддерживать высокий горизонт воды и ведет к ее перерасходу [6];

- надо на республиканском уровне принять закон «О сохранении и приумножении древесно-кустарниковой растительности, расположенной на землях сельскохозяйственного назначения», а также использовать господдержку на лесомелиорацию с компенсацией 90% затрат, что позволит за счет уменьшения ветровой деятельности, снижения температуры и повышения влажности воздуха, снизить водопотребление культурами на 15...20%, а также защитить почву от эрозии и опустынивания;

- повысить культуру орошаемого земледелия, за счет ежегодной планировки, введения севооборотов с бобовыми, зернобобовыми или

промежуточными культурами; орошение с применением жидких комплексных удобрений;

- **на среднесрочную перспективу (до 2035 г.):**

- концентрация финансовых средств на основных оросительных системах с целью доведения их до современного технологического уровня, с обязательным наличием дренажных систем;

- ускорение проведения научных прикладных исследований для перехода рисоводства (основного потребителя оросительной воды) на водосберегающие технологии возделывания (периодическое орошение, внедрение рассадной технологии возделывания риса, использование сортов с короткой вегетацией);

- создание участков для использования очищенных сточных вод и вод дренажного стока.

Выводы. Анализ динамики температурных характеристик за 60-летний период (1966-2025 гг.) показал, что средняя годовая температура воздуха, средняя температура вегетационного периода и сумма активных температур за период вегетации имеют стабильную тенденцию повышения, особенно за последние 10 лет (2016-2025 гг.). Повышенная теплообеспеченность привела к увеличению продолжительности вегетационного периода со 194 до 211 дней, а основное удлинение происходило за счет осеннего периода вегетации.

Изучение количества осадков за год и вегетационный период за интервал 1966-2025 гг. показало, что среднегодовая сумма осадков уменьшилась на 67 мм или на 15,6% от среднемноголетнего значения, а за вегетационный период – на 14,0% от нормы и составила 57,5% от годовой суммы осадков, подсчет продуктивных осадков уменьшил это значение до 42,7%.

Среднее значение гидротермического коэффициента за анализируемый период уменьшилось с 0,65 до 0,53, что позволяет сделать общий вывод об аридном потеплении орошаемой зоны за период 1966-2025 гг. и об увеличении климатических рисков при ведении орошаемого земледелия.

Мелиорации земель, как стратегическому фактору устойчивости развития сельского хозяйства, поставлены задачи на краткосрочную и долгосрочную перспективу, направленные на развитие мелиоративно-водохозяйственного комплекса и его адаптацию к климатическим изменениям.

Список использованных источников

1. Агроклиматический справочник по Дагестанской АССР. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1963. – 66 с.

2. Завалин, А.А. Проблемы и пути решения технологического развития земледелия / А.А. Завалин // Земледелие. - 2024. - № 2. - С. 25-29.
3. Иванов, А.Л. Глобальное изменение климата и его влияние на сельское хозяйство России / А.Л. Иванов // Земледелие. - 2009. - № 1. - С. 3-6.
4. Исаева, С.Д. Водные ресурсы для орошения земель / С.Д. Исаева, Э.Б. Дедова // Мелиорация и водное хозяйство. - 2024. - № 4. - С. 74-79.
5. Кошкин, Е.И. Влияние глобальных изменений климата на продуктивность и устойчивость сельскохозяйственных культур к стрессорам / Е.И. Кошкин, И.В. Андреева, Г.Г. Гусейнов // Агрохимия. - 2019. - № 12. - С. 83-96.
6. Магомедов, М.М. Состояние и перспективы развития мелиорации в Республике Дагестан / М.М. Магомедов, С.А. Курбанов // Мелиорация и водное хозяйство. - 2025. - № 3. - С. 30-33.
7. Титкова, Т.Б. Соотношение тепла и влаги в сельскохозяйственных районах юга России в летний период при изменении климата / Т.Б. Титкова, А.Н. Золотокрылин, М.А. Тарасова // Метеорология и гидрология. - 2023. - № 9. - С. 72-85.
8. Шевченко, В.А. Новый этап развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса Российской Федерации / В.А. Шевченко, С.Д. Исаева, Э.Б. Дедова // Вестник Российской академии наук. - 2023. - Т. 93, № 4. - С. 355-361.

References

1. Agroklimaticheskiy Spravochnik po Dagestanskoi ASSR. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1963. – 66 p.
2. Zavalin, A.A. Problems and Ways of Solving Technological Development of Agriculture / A.A. Zavalin // Zemledelie. - 2024. - No. 2. - Pp. 25-29.
3. Ivanov, A.L. Global Climate Change and Its Impact on Russia's Agriculture / A.L. Ivanov // Zemledelie. - 2009. - No. 1. - Pp. 3-6.
4. Isaeva, S.D. Water resources for land irrigation / S.D. Isaeva, E.B. Dedova // Melioration and water management. - 2024. - No. 4. - Pp. 74-79.
5. Koshkin, E.I. The impact of global climate change on the productivity and resistance of crops to stressors / E.I. Koshkin, I.V. Andreeva, G.G. Guseinov // Agrochemistry. - 2019. - No. 12. - Pp. 83-96.
6. Magomedov, M.M. The state and prospects of development of land reclamation in the Republic of Dagestan / M.M. Magomedov, S.A. Kurbanov // Land reclamation and water management. - 2025. - No. 3. - Pp. 30-33.
7. Titkova, T.B. The ratio of heat and moisture in agricultural areas of southern Russia during the summer period under climate change / T.B. Titkova, A.N. Zolotokrylin, M.A. Tarasova // Meteorology and Hydrology. - 2023. - No. 9. - Pp. 72-85.
8. Shevchenko, V.A. A New Stage in the Development of the Land Reclamation and Water Management Complex of the Russian Federation / V.A. Shevchenko, S.D. Isaeva, E.B. Dedova // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. - 2023. - Vol. 93, No. 4. - Pp. 355-361.

3.12 К ПРОБЛЕМЕ НОРМИРОВАНИЯ ДОПУСТИМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ПРИВНОСЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА БОЛОТА

В России находятся под болотами около 154,5 млн га земель, что более чем в 2 раза превышает площадь земель под водными объектами в целом по стране – 72,4 млн га [2]. В соответствии с Водным кодексом РФ болота относятся к поверхностным водным объектам, но при этом их специфика слабо учитывается в действующем законодательстве применительно к использованию и ведению хозяйственной деятельности на них. В частности, существующие подходы к нормированию поступления загрязняющих веществ в водные объекты ориентированы на водотоки и водоемы, а болота не вписываются в общую схему нормирования имея существенно отличающийся гидрологический и гидрохимический режимы. Сточные и проточные болота косвенно влияют на формирование качественных характеристик водотоков и водоемов, заболоченность является одним из определяющих природных факторов гидрохимии многих речных бассейнов. В связи с этим нормирование привноса загрязняющих веществ на болота, в том числе при сбросе сточных вод, должно отражать специфику этого типа водных объектов.

Сброс сточных вод является наиболее распространенным видом водохозяйственной деятельности на болотах. По ранее выполненным оценкам около 95 % официально используемых как водные объекты болот востребованы именно для сброса, т.е. являются водоприемниками сточных вод различного происхождения [4].

В существующей схеме нормирования допустимого воздействия на водные объекты болота не выделяются в отдельный блок, а значит используются единые нормативы качества, предусмотренные действующим законодательством и нормативно-правой базой. Согласно постановлению Правительства РФ от 13 февраля 2019 г. № 149 «О разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды, а также об утверждении нормативных документов в области охраны окружающей среды, устанавливающих технологические показатели наилучших доступных технологий» нормативы качества вод поверхностных водных объектов устанавливаются для водных объектов, которые учтены в государственном водном реестре, при этом должны учитываться условия их целевого использования и природных особенностей. Согласно этому постановлению как норматив качества воды водных объектов в зависимости от сочетания условий, фактического состояния и использования водного объекта могут приниматься:

– для вод поверхностных водных объектов, используемых для целей хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водоснабжения и в других целях гигиенические нормативы (ГН), при этом исключение составляют водные объекты рыбохозяйственного значения;

– в воде водных объектов рыбохозяйственного значения предельно допустимые концентрации (ПДК_{р/х});

– наименьшее значение из вышеперечисленных для оценки качества вод поверхностных водных объектов рыбохозяйственного значения, используемых одновременно для целей хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водоснабжения и (или) в других целях;

– нормативы для водных объектов (за исключением водных объектов рыбохозяйственного значения), разработанные и утвержденные Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации (Минприроды России), которые выше значений ГН и ПДК_{р/х} и при этом учитывают влияние природных факторов (региональные нормативы или РН).

Согласно постановлению Правительства РФ от 15.05.2025 № 652 «Об утверждении Правил разработки и утверждения нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» региональные нормативы для водных объектов с рыбохозяйственным значением (РН_{р/х}) разрабатываются по инициативе субъектов РФ или водопользователей с последующим утверждением федеральным агентством по рыболовству (Росрыболовство).

На практике из предложенного перечня в настоящий момент используются только ПДК_{р/х}, реже ГН. РН_{р/х} существуют в сильно ограниченном составе: в приказе Росрыболовства от 26.05.2025 № 296 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» приведены значения РН_{р/х} для 7 загрязняющих веществ, которые можно использовать для нескольких бассейнов рек и озер Мурманской области, Республики Карелия и Приморского края.

РН, утвержденные Минприроды России, отсутствуют вовсе и по факту не разрабатываются. В ряде субъектов РФ ранее допускался учет фоновое состояние водных объектов, в случае подтверждения его природного генезиса от территориальных подразделений Росгидромета. Однако в связи с ведомственным подходом, в том числе из-за нежелания брать на себя ответственность на основании отсутствия полномочий в выдаче рекомендаций

по установлению нормативов такая практика прекратилась. После вступления в силу упомянутых постановлений Правительства РФ № 149 и № 652 установление РН качества вод поверхностных водных объектов формально приобрело некоторый регламент, который на практике не реализуется, т.к. к полномочиям Минприроды России относится принятие только нормативно-правовых актов, касающихся методик и методов разработки нормативов допустимых сбросов и правил разработки технологических нормативов в соответствии с постановлением Правительства РФ от 11 ноября 2015 г. № 1219 «Об утверждении Положения о Министерстве природных ресурсов и экологии Российской Федерации и об изменении и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации». Иными словами, установление РН не входит в полномочия Минприроды России.

Таким образом, разработкой РН, как и $RH_{p/x}$ не занимаются, и в ближайшие годы, вероятно, данное направление останется невостребованным у Минприроды и субъектов РФ. А при отсутствии РН и $RH_{p/x}$ остается применение в роли нормативов качества для водных объектов, в том числе болот только ПДК_{p/x} и реже ГН.

В статье [7] указано, что соблюдение в сточных водах концентраций на уровне ПДК_{p/x} и ГН при сбросе на олиготрофные болота способствует деградации болотной растительности, которая адаптирована к природным концентрациям, существенно отличающимся от применяемых нормативов как в большую, так и в меньшую сторону. При этом олиготрофные болота переходят к мезотрофным и в дальнейшем к эвтрофным видам, т.е. ведут к трансформации болота, что противоречит принципам их охраны.

Для болот проблема используемых нормативов качества обострена тем, что для болотных вод характерно наличие значительных концентраций по углеводороды [9]. По этой причине формальный анализ экологического мониторинга не позволяет сделать объективную оценку воздействия на болота или *эффективности природоохранных мероприятий, основываясь на значениях химического потребления кислорода (ХПК) или содержания Fe, Cu, NH^{4+} , NO^{2-} , нефтепродуктов и фенолов.* Правоприменительная практика показывает, что в подавляющем большинстве случаев контролирующие органы требуют нормирование на уровне ПДК_{p/x}, игнорируя факт недостижимости и даже вредности такого формального нормирования с точки зрения сохранения экологического благополучия болота.

Требование использования ПДК_{p/x} как основного норматива качества воды на болотах по-прежнему обосновывается наличием гидравлической связи болот со смежными водными объектами и необходимостью соблюдения нормативов

качества в водотоках и водоемах, которые все принимаются как рыбохозяйственные, даже при отсутствии в государственном рыбохозяйственном реестре. Это явилось следствием соблюдения не действующей сейчас формулировки Федерального закона от 20 декабря 2004 г. № 166-ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов»: к водным объектам рыбохозяйственного значения относятся водные объекты, которые используются или могут быть использованы для рыболовства. Тезис «могут быть» позволял относить все водные объекты к категории рыбохозяйственных. Соответственно при наличии гидравлической связи с водотоками и водоемами, болото игнорируется как самостоятельный водный объект, ему отводится роль транзитного участка без учета природной гидрохимической составляющей.

Определенные повышенные концентрации характерных веществ в болотных водах является необходимым условием существования болота. При достижении ПДК_{р/х} и ГН в болотной воде (например, по Fe, NH⁴⁺ и др.) болото как самостоятельный водный объект деградирует, что противоречит задачам нормирования воздействий на водные объекты, требованиям природоохранного и водного законодательств.

Целью нормирования является сохранение или улучшение экологического состояния водных объектов. Основные биологические показатели, которые используются при оценке состояния водного объекта, включают состав и численность водной флоры, донной беспозвоночной фауны, а также состав, численность и возрастную структуру рыбной фауны [8]. Флора болот является основным идентификатором при выделении микроландшафтов и типов болот.

Применительно к гидробионтам ситуация сложнее. Видовой состав зообентоса в болотах очень беден, что обусловлено низким содержанием кислорода, наличием метана в придонных слоях и выходом других токсических газов. Типичные болота практически не имеют сформированной ихтиофауны, что объясняется не только химическим составом воды, но и отсутствием условий для нереста и нагула рыбы [5]. Несмотря на наличие некоторых возможностей по другим критериям (зимовка, кислородный режим, условия миграции и т.д.) болота не представляют собой интереса для нормального воспроизводства ихтиофауны, либо ограничено большими незаморными внутриводными водоемами.

В реках с высокой заболоченностью водосбора состав ихтиофауны составляют адаптированные в процессе эволюции к повышенным содержаниям специфических веществ рыбы. В соответствии с литературными источниками в регионах с высокой заболоченностью большинство туводных видов рыб

принадлежит к семейству карповых. Карповые одни из самых разводимых видов рыб и нормативные требования рыбоводческих хозяйств по гидрохимическим характеристикам хорошо известны. Сравнение показало, что требования рыбоводческих хозяйств выглядят менее жесткими, чем требования по нормированию допустимого воздействия на водные объекты, в том числе при сбросе сточных вод. Например, предельные значения при выращивании карпа в монокультуре и поликультуре по концентрациям железа общего допускаются до 1...2 мг/л при ПДК_{р/х} 0,1 мг/л. Следует подчеркнуть, что и для более ценных рыб концентрации в рыбоводстве существенно выше: предельные для выращивания пеляди и форели до 1 мг/л, а допустимые концентрации – до 5 мг/л [3].

Таким образом, жесткое требование соблюдения ПДК_{р/х} при нормировании привноса загрязняющих веществ на болота абсолютно не оправдано и противоречит целям нормирования. В поверхностных водах вообще, и в болотных водах в частности, широко присутствуют компоненты, концентрации которых независимо от антропогенной нагрузки, почти всегда выше установленных нормативов качества: железо, медь, марганец и т.д. В принципе это касается всех веществ двойного генезиса, чье содержание в болотных водах обусловлено природными особенностями. Ориентируясь только на ГН и ПДК_{р/х} нельзя провести адекватный анализ экологического состояния заболоченных территорий [1]. А регламентирующие разработку региональных нормативов документы в настоящее время несовершенны настолько, что не только не способствует разработке РН и РН_{р/х}, а скорее препятствуют. Тем не менее по веществам искусственного происхождения, нетипичным для болот, использование ПДК_{р/х} смотрится пока без альтернатив.

Наиболее оптимальным и соответствующим поставленной задаче сохранения или улучшения экологического состояния водного объекта при устойчивом функционировании его экосистемы является установление нормативов качества воды с учетом регионального фона болот по определенным веществам. Для их реального применения необходимо принципиально решить несколько вопросов:

- 1) устранить противоречия подзаконных актов, регламентирующих установление РН для водных объектов, не имеющих рыбохозяйственного значения;

- 2) для водных объектов, не имеющих рыбохозяйственного значения, в частности для болот, разработать и утвердить нормативно-методические документы, регламентирующие требования и алгоритм расчета значений РН, включая границы гидрографической сети, для которой они устанавливаются;

3) определить процедуру утверждения РН и порядок использования его в нормативных актах, касающихся нормирования хозяйственной деятельности, оценки состояния природного объекта и т.д.;

4) согласовать перечень контролируемых показателей, для которых целесообразно проводить определение РН применительно к болотам.

Установление перечня показателей, для которых целесообразно установление РН, в том числе для болот, требует научного обоснования. Любая хозяйственная деятельность вызывает изменение природных миграционных циклов для многих веществ и соединений, нормирование абсолютно всех нерационально. Попытка ограничить перечень показателей была осуществлена введением распоряжения Правительства РФ от 20 октября 2023 г. № 2909-р «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды». Однако перечень показателей для водных объектов по-прежнему велик – 265 показателей, включая радиоактивные изотопы. Рационально ограничить перечень наиболее характерными для сточных вод и одновременно значимыми для функционирования экосистем, в том числе болотных, показателями.

Болота не идентичны по качественным характеристикам вод. Содержание различных элементов в болотных водах варьируется в зависимости от условий водно-минерального питания, преобладающей растительности и пр. Состав болотных вод зависит от типа болота: низинные (эвтрофные), переходные (мезотрофные) или верховые (олиготрофные). Однако исследования, опубликованные в статье [7], показали, что олиготрофные болота, территориально удаленные друг от друга, во многом сходны по гидрохимическому режиму и химическому составу воды, изменение содержания главных ионов и общая минерализация находятся в узком диапазоне. Соответственно фоновые содержания основных гидрохимических показателей могут быть приняты для всех верховых болот. Химический состав болотных вод Томской области с распределением по типу болот показал, что высокие значения концентраций ХПК, соединений азотной группы, железа, марганца характерны для всех типов болот [1]. Но химический состав болотных вод в решающей степени зависит от типа торфяной залежи и залегающих торфов, которые в свою очередь зависят от различий условий водно-минерального питания, изменяющихся на разных этапах формирования торфяной залежи.

Проведенный ранее анализ типов сточных вод, сбрасываемых в болота России, показал, что наибольшее распространение имеет водоотведение хозяйственно-бытовых и приравненных к ним вод. При рассмотрении перечня

нормируемых веществ, для которых может потребоваться установление РН, следует ориентироваться на присущие этим сточным водам ингредиенты: взвешенные вещества; сухой остаток (минерализация), БПК₅ (БПК_{полн}); аммоний, нитриты, нитраты, фосфаты, нефтепродукты, СПАВ, сульфаты, хлориды. С учетом возможности поступления производственных сточных вод в канализационные сети централизованных систем имеет смысл добавить железо, медь, марганец, цинк, никель, фенолы. Это все вещества двойного генезиса и в первом приближении список можно ограничить данными показателями.

Вопрос установления РН для болот не решаем без регламента их установления. Нормативный документ, регламентирующий расчет РН взвешенных и растворенных веществ сейчас отсутствует. В разное время возникали региональные разработки, связанные с этим вопросом, некоторые из них были запатентованы [6], но не получили общероссийского статуса и правомочность их применения не признана.

При наличии обозначенных проблем нормирования допустимого воздействия на болота и инертности их решения целесообразно ввести некоторые временные решения для реального снижения негативного влияния как на болота, так и на ведение хозяйственной деятельности. Одним из таких временных решений может быть допущение использовать в качестве РН технологические показатели (ТП) наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов, утвержденных постановлением Правительства от 15.09.2020 № 1430.

В пользу подобного временного решения можно отнести ограниченный перечень соединений с установленными ТП (взвешенные вещества, ХПК, БПК₅, азот аммонийный, азот нитратов, азот нитритов, фосфор фосфатов, нефтепродукты). Эти соединения относятся к веществам двойного генезиса и характерны для природных вод болот всех типов. Перечень указанных показателей невелик, имеется в перечне мониторируемых показателей в пунктах государственной наблюдательной сети и водопользователями. Он принципиально достаточен для проведения оценки влияния на состояние болот при малых затратах. Имеется возможность собрать сведения о качестве болотных вод до и после сброса сточных вод и оценить в динамике изменение качественных характеристик в комплексе с иными критериями болотных экосистем.

Список использованных источников

1. Воистинова Е. С., Харанжевская Ю. А. Особенности химического состава вод болотных ландшафтов таежной зоны Западной Сибири в условиях интенсивной антропогенной нагрузки // Вода: химия и экология. 2013. № 8. – с. 8-15.
2. Государственный (национальный) доклад «О состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2024 году». – М., 2025. – 202 с.
3. Козлов В.И. Справочник фермера-рыбовода. М.: Изд. ВНИРО. 1998. – 342 с.
4. Лапина Т. В. Совершенствование системы нормирования сбросов загрязняющих веществ в сточных водах при водоотведении на болота // X Евразийский экономический форум молодежи. EURASIA GREEN. Тезисы работ участников Международного конкурса научно-исследовательских проектов молодых ученых и студентов, Екатеринбург. – 2019. – с. 37-43.
5. Литвенкова И.А., Савенок В.Е. Гидроэкология: курс лекций в 2 ч. Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2013. – Ч. 2. – 49 с.
6. Патент 2540442 Российская Федерация, С2. Способ измерения фоновых концентраций веществ в болотных водах / Савичев О. Г., Решетько М. В.; заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет (RU). — № 2540442; заявл. 19.04.2013; опубл. 10.02.2015, Бюл. № 4. – 19 с.
7. Потапова Т. М., Марков М. Л., Задонская О. В. (2020). Установление гидрохимического фона верховых болот различных регионов России для обоснования нормативов допустимого воздействия на болота. Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле, 65 (3). – с. 455-467.
8. Семенченко В.П., Разлуцкий В. И. Экологическое качество поверхностных вод, Минск. Беларуская навука, 2011. – 329 с.
9. Шварцев С.Л., Серебренникова О.В., Здвижков М.А., Савичев О.Г., Наймушина О.С. Геохимия болотных вод нижней части бассейна Томи (юг Томской области) // Геохимия. – 2012. – № 4. – с. 403-417.

References

1. Voistinova E. S., Kharanzhevskaya Yu. A. Features of the chemical composition of the waters of the swamp landscapes of the taiga zone of Western Siberia under conditions of intense anthropogenic load // Water: chemistry and ecology. 2013. No. 8. – pp. 8-15.
2. State (national) report "On the state and use of lands in the Russian Federation in 2024." Moscow, 2025. - 202 p.
3. Kozlov V.I. Handbook of a fish farmer. Moscow: VNIRO Publishing House. 1998. – 342 p.
4. Lapina T. V. Improving the system of rationing discharges of pollutants in wastewater during drainage to swamps // X Eurasian Economic Youth Forum. EURASIA GREEN. Abstracts of works by participants of the International Competition of Scientific Research projects of Young scientists and students, Yekaterinburg, 2019, pp. 37-43.
5. Litvenkova I.A., Savenok V.E. Hydroecology: a course of lectures in 2 hours Vitebsk: Masharov Moscow State University, 2013. – Part 2. – 49 p.
6. Patent 2540442 Russian Federation, C2. Method for measuring background concentrations of substances in swamp waters / Savichev O. G., Reshetko M. V.; applicant and patent holder Tomsk

Polytechnic University (RU). — No. 2540442; application dated 04/19/2013; published on 02/10/2015, Issue No. 4. - 19 p.

7. Potapova T. M., Markov M. L., Zadonskaya O. V. (2020). Establishment of the hydrochemical background of upland marshes in various regions of Russia to substantiate the standards of permissible impact on marshes. Bulletin of St. Petersburg University. Earth Sciences, 65 (3), - pp. 455-467.

8. Semenchenko V.P., Razlutskiy V. I. Ecological quality of surface waters, Minsk. Belarusskaya nauka Publ., 2011. – 329 p.

3.13 КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА НАПОРА НА МЕЛИОРИРУЕМЫХ СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ

В мелиоративных системах с дождевальными машинами на склоновых землях в основном устроены закрытые трубопроводы. Для закрытых оросителей используют главным образом стальные трубы, запорную арматуру к ним изготавливают, как правило, тоже из стали. Кроме того, из-за сложности рельефа в таких районах эффективное управление водными ресурсами имеет решающее значение [1].

Потери оросительной воды из трубопроводов приводят к просадкам и подстилающих грунтов, оврагообразованию, оползням, разрушению элементов оросительных систем, дорог и других коммуникаций. Поэтому на закрытых самонапорных системах в условиях больших уклонов местности (более 0,008) возникают сложности при организации полива, отсюда требуется установка делителя и ограничителя статического напора, который снижал бы избыточное давление до достижения постоянного напора воды в магистральном или поливных трубопроводах [2].

Работа заключается в исследовании новых конструктивных решений автоматического регулятора напора для повышения экологической безопасности на мелиорируемых землях.

Изменение климатических условий, особенно продолжительные засухи и нерегулярные осадки, усилили необходимость сохранения водных ресурсов. При этом образуются зоны с избыточным и недостаточным поливом. Это приводит к возникновению различных экологически неблагоприятных явлений в зоне влияния мелиоративных систем.

При решении проблемы снижения избыточного давления в поливных трубопроводах рассматривается вопрос внедрения автоматизированных самонапорных оросительных систем орошения. Автоматизация, в свою очередь, также решает проблему учета оросительной воды в условиях рыночных отношений и повышает качество функционирования оросительной сети [3].

Для автоматического регулятора напора приняты следующие граничные условия. Рассматриваются объекты закрытых оросительных трубопроводов с запорной арматурой (задвижками). Режим работы дождевальных машин «Фрегат» и ДД-30 принят одновременным. Для этих условий используются расчетные расходы распределительных трубопроводов: магистральный трубопровод – 727 л/с; соответственно, распределительные трубопроводы – 300, 370 и 260 л/с.

Глубина заложения труб в траншею составляет 1,0 м. Напор для «Фрегат» составит 65...70 м, для ДД-30 – 45 м (при этом радиус полива составит 40...50 м). Дождевальная машина «Фрегат» является одной из наиболее распространенных в мелиоративном комплексе страны и имеет ряд значительных преимуществ. Необходимо отметить, что условия регулирования подачи воды из закрытых трубопроводов влияют также на показатели агроэкологического качества дождевальных насаждений, монтируемых на трубопроводе машины «Фрегат» или других машинах.

Авторами настоящего исследования предложена конструкция автоматического регулятора статического напора воды для закрытых трубопроводов (рисунок 3.16). Разработка предназначена для закрытых трубопроводов диаметров 500 и 300 мм, с расходом от 400 до 600 л/с, максимальным напором до 210 м в магистральном трубопроводе. На основании разработанной конструкторской документации проведены экспериментальные исследования устройства на натурном образце для проверки и определения основных конструкторских и технологических параметров [4].

В исследовании общий статический напор достигал 210 м. В связи с этим трубопровод был разделен на два участка по 149 м с максимальным статическим напором. Исследования проводились на пропускную способность до 500 л/с, рабочий диапазон напоров в трубопроводе от 3 до 100 м. Расчетные параметры поплавка – 600 х 410 х 310 мм; гидрозадвижка диаметром 250 мм. Точность отводимого расхода была $\pm 15\%$. Максимальный перепад в колодце-резервуаре был от 0,6 до 1,5 м для данных расходов. При этом площадь полива составила 850 га.

В рабочем технологическом режиме узел регулятора статического напора включает колодец-резервуар размерами 2,0х3,0х2,7 м, подводящий трубопровод 500 мм, запорно-регулирующий орган с задвижкой диаметром 250 мм. Рядом с 11 расположены еще два колодца, каждый из которых соединен с трубой для подачи воды к дождевальным машинам. В колодце 7 находится поплавок 15, который может быть перемещен в вертикальном положении с помощью шарнира 19. Этот поплавок-датчик отслеживает уровень воды в колодцах 7 и 11.

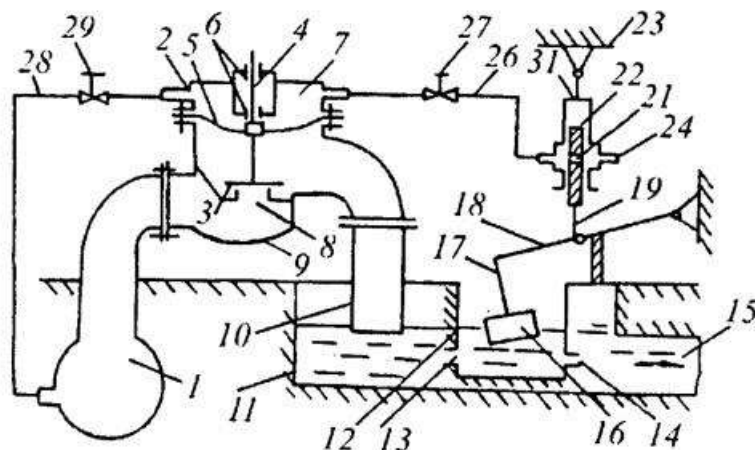


Рисунок 3.16 – Схема автоматического регулятора статического напора воды для закрытых трубопроводов:

1 – подводящий напорный трубопровод; 2 – камера давления; 3 – клапан; 4 – шток; 5 – мембрана; 6 – направляющие; 7 – крышка; 8 – выпускные отверстия; 9 – корпус; 10 – сливной патрубок; 11 – колодец-резервуар; 12 – проточная емкость; 13, 14 – отверстия; 15 – отводящий трубопровод; 16 – поплавковый датчик; 17 – шток датчика; 18 – шарнирно-рычажный орган; 19 – тяга; 20 – золотник; 21 – сквозное отверстие; 22 – распределитель; 23 – устой шарнирный; 24, 25 – сквозные отверстия; 26 – трубка; 27 – вентиль; 28 – трубка; 29 – вентиль

Принцип действия автоматического регулятора статического напора следующий. Вода из колодца-резервуара 11 подается по трубопроводу 15 к поливной технике на массиве орошения. Постоянство требуемого напора обеспечивается поддержанием уровня воды в колодце-резервуаре. Это условие выполняется автоматически с помощью запорно-регулирующего устройства демпфера с регулирующим клапаном 3. Клапан соединен с упругой мембраной 5, на которую воздействует с нижней стороны давление воды подводящего трубопровода, с верхней – давление воды, находящейся в камере давления, и упругая сила пружины. При заданном уровне воды в колодце-резервуаре 11 силы, действующие на мембрану 5, взаимно уравновешены, причем расход притока воды в 11 равен расходу оттока из него.

При снижении уровня воды в колодце поплавковый датчик 15 также опускается и через рычаг 18 перемещает вниз золотник 20, что влечет уменьшение перекрытия выпускного отверстия 24. В этот момент расход воды в 11 стабилизируется, так как расход притока воды в колодец станет равным оттоку из него.

Рассматриваемый режим работы установки характеризуется известной зависимостью расхода Q ($\text{м}^3/\text{с}$) от напора H (м), согласно которой безразмерный коэффициент расхода системы μ_c определяется как:

$$\mu_c = Q / (\omega (2gH)^{1/2}),$$

где: ω – площадь живого сечения, м^2 ; g – ускорение свободного падения $= 9,81 \text{ м/с}^2$.

При фактических значениях параметров предложенного сооружения установлено, что $\mu_c = 0,35$. Если напорный режим работы водозабора сохраняется, то коэффициент расхода μ_c остается неизменным. В этом случае расход Q может быть оценен расчетным методом при уровнях воды в колодце-резервуаре от 0,7 до 2,5 м. Результаты расчета иллюстрирует рисунок 3.17.

При достижении колебания расхода водоподачи Q в пределах $\pm 5\%$ ($\pm 25 \text{ л/с}$), колебание уровня составит от 1,57 до 1,83 м. Гидравлические параметры ограничителя статического напора H (м) могут быть оценены по формуле:

$$H = h_w = \Sigma h_{\text{мест}} + h_{\text{св}} = i_{\text{п}} \ell - V^2/2g,$$

где: h_w – потери напора по длине трубопровода, м; $\Sigma h_{\text{мест}}$ – местные потери напора в трубопроводе, м; $h_{\text{св}}$ – свободный напор на поливном агрегате, м; ℓ – расстояние между ограничителем напора и поливным агрегатом в горизонтальной проекции, м; $V^2/2g$ – скоростной напор при проектном расходе закрытого трубопровода, м.

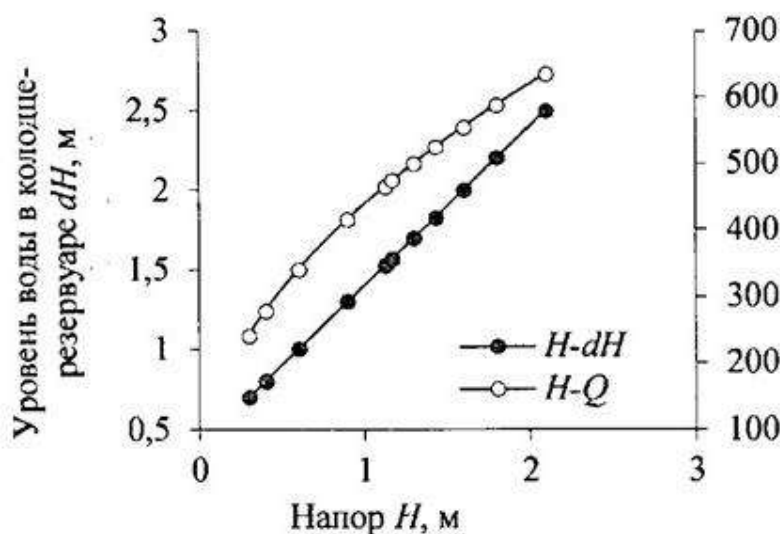


Рисунок 3.17 - Расходы водоподачи из колодца-резервуара в поливные трубопроводы

Степень открытия клапана и расход через регулятор зависит от соотношения сил, действующих на мембрану (сверху) и со стороны корпуса (снизу).

$$[\Sigma F_{\text{кам}} = P_{\text{кам}} + G_{\text{кл}}] > [\Sigma F_{\text{т}} = P_{\text{т}} \omega_{\text{т}} + F_{\text{д}}];$$

$$F_{\text{д}} = \rho V Q_{\text{р}},$$

где: $\Sigma F_{\text{кам}}$, $\Sigma F_{\text{т}}$ – силы, действующие на мембрану со стороны рабочей камеры и корпуса, Н; $P_{\text{кам}}$ – давление в рабочей камере, Па; $\omega_{\text{т}}$ – эффективная площадь мембраны, м^2 ; $G_{\text{кл}}$ – вес клапана с мембраной, Н; $P_{\text{т}}$ – давление в корпусе, Па; $\omega_{\text{т}}$ – площадь проходного сечения корпуса, м^2 ; $F_{\text{д}}$ – сила гидродинамического давления на клапан, Н; ρ – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$; V – средняя скорость потока в корпусе, $\text{м}/\text{с}$; $Q_{\text{р}}$ – расход через регулятор, $\text{м}^3/\text{с}$.

Из этих зависимостей следует, что рабочий клапан 3 регулятора, связанный штоком 4 с мембраной 5, изменяет свое положение в результате перемещения, соответственно, поплавка 16 и возникающего изменения давления в рабочей камере 2 регулятора.

Коэффициент расхода регулятора, отнесенный к поперечному сечению седла корпуса с учетом скорости подхода, составляет $\mu_{\text{р}} = 0,60$.

Благодаря тому, что объем рабочей камеры мембранного устройства, заполняется в течение нескольких секунд, а также демпфирующему влиянию поплавковой камеры, кратковременные отклонения расхода в отводящем трубопроводе (или уровня в канале) не влияют на процесс регулирования. В случае прекращения полива, отказа потребителя от воды, уровень в колодце повышается, в результате чего расход через соответствующий трубопровод отключается автоматически. Закрывается подводящий трубопровод, соответственно, имеет место гидравлическая обратная связь за счет статических напоров в напорном трубопроводе и связи с водозабором в голове трубопровода (например, бассейн суточного регулирования) [5-6].

Таким образом, при групповой работе дождевальной машины «Фрегат» от общего трубопровода каждая машина работает в своем режиме, что накладывает ряд серьезных особенностей на проектирование закрытых оросительных систем. Устройство служит для снижения напора в трубопроводе и выдачи постоянного расхода при напорах в подводящем трубопроводе от 5 до 100 м, а также смягчает возникающий в трубопроводе возможный гидравлический удар (снимет его).

Сооружение имеет простую конструкцию, обеспечивает возможность автоматического поддержания заданного напора в резервуаре, обусловленного связью двухпозиционных переключателей с шарнирно-рычажным параллелограммным механизмом. Производительность труда повышается в среднем более чем на 90%.

Выводы. В новом конструктивном решении автоматического делителя потока статического напора отсутствуют трущиеся поверхности, соприкасающиеся с водой, отсутствуют гидравлические удары в сети, исключено использование электроэнергии. Полученные в процессе выполненных исследований результаты свидетельствуют о выдаче постоянных

расходов воды для дождевальных машин и возможность подачи воды в системы капельного орошения и в открытую оросительную сеть.

Список использованных источников

1. Автоматизация водоподачи и учет воды на внутрихозяйственной оросительной системе: Монография / А.С. Овчинников, А.А. Пахомов, Н.А. Колбанова, В.Ф. Скворцов, В.В. Якубов. - Волгоград: ВолгГАУ. – 2012. - 188 с.
2. Пахомов А.А. Расчет переходных процессов в каналах с автоматическим регулированием водоподачи / А.А. Пахомов, Н.А. Колбанова, В.Ф. Скворцов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – Волгоград: – 2010. № 4(20). - С. 176-181.
3. Бочкарев В.Я. Новые технологии и средства измерений, методы организации водоучета на оросительных системах. – Новочеркасск: - 2012. - 227 с.
4. Пат. 2475705 Российская Федерация. МПК G05D 11/00. Автоматический регулятор статического напора воды для закрытых трубопроводов, В.М. Голубенко, М.И. Голубенко. Оpubл. 20.02.2013.
5. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: Справочник – М.: ФГБНУ «Россинформагротех». - 2015. – 264 с.
6. Дементьев Г.Д. Орошение. - М.: Колос. - 1979.- 303 с.

References

1. Automation of water supply and accounting of water in the on-farm irrigation system: A monograph / A.S. Ovchinnikov, A.A. Pakhomov, N.A. Kolbanova, V.F. Skvortsov, V.V. Yakubov. Volgograd: VolgGAU, 2012, 188 p.
2. Pakhomov A.A. Calculation of transient processes in channels with automatic regulation of water supply / A.A. Pakhomov, N.A. Kolbanova, V.F. Skvortsov // Proceedings of the Nizhnevolzhsky agrouniversity complex: science and higher professional education. – Volgograd: – 2010. № 4(20). - Pp. 176-181.
3. Bochkarev V.Ya. New technologies and measuring instruments, methods of organizing water accounting in irrigation systems. Novocherkassk: 2012. 227 p.
4. Pat. 2475705 Russian Federation. IPC G05D 11/00. Automatic static water pressure regulator for closed pipelines, V.M. Golubenko, M.I. Golubenko. Publ. 02/20/2013.
5. Resource-saving energy-efficient environmentally safe technologies and irrigation equipment: A reference book - Moscow: FSBIU Rossinformagrotech. - 2015. – 264 p.
6. Dementiev G.D. Irrigation, Moscow: Kolos, 1979, 303 p.

3.14 ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ МАЛЫХ РЕК И ПАРАМЕТРЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Современные климатические изменения оказывают существенное влияние на формирование речного стока в зоне распространения многолетнемерзлых пород. Повышение температуры воздуха, изменение сроков и интенсивности

снеготаяния, а также рост межгодовой изменчивости осадков приводят к трансформации гидрологического режима рек, особенно малых и средних водотоков Центральной Якутии.

Инженерные аспекты возведения и эксплуатации грунтовых плотин в условиях распространения многолетнемерзлых пород рассмотрены в работах Д.Н. Слепцова [4], Р.В. Чжан [2], Л.Н. Слоева [5], М.И. Лоскина [3], и других, где показано, что изменение гидрологических условий оказывает существенное влияние на устойчивость грунтовых сооружений.

Река Татта является типичной малой рекой региона с резко выраженным весенним половодьем и практически полным отсутствием устойчивого стока в меженный и зимний периоды, которые в последние годы значительно разнятся от принятых в 1970-1980-е годы характеристик водотоков. Одной из основных причин изменения гидрологического режима рек в последние годы является изменения климата [3]. В этих условиях даже незначительные изменения гидрологических характеристик приводят к росту нагрузок на гидротехнические сооружения. В связи с этим, изучение и анализ гидрологического режима малых рек и их влияния на гидротехнические сооружения являются актуальной научно-практической задачей.

Целью настоящей работы является анализ влияния изменения климата на гидрологический режим малых рек и параметры гидротехнических сооружений.

В работе использованы фондовые материалы треста «ЯкутТИСИЗ», ГБУ «Упрмелиоводхоз» и ООО «Гидропроект», гидрологические и водохозяйственные расчёты по реке Татта, проектная документация по гидротехническим сооружениям, а также результаты научных исследований, посвящённых строительству и эксплуатации грунтовых плотин в условиях многолетнемерзлых грунтов.

Методы исследования основаны на сопоставлении расчётных характеристик максимальных расходов воды, принятых в два этапа (до 2000 года – период низких расчётных расходов воды и 2000-2025 годы – период увеличения максимальных расходов весеннего половодья). Анализ выполнен по основным обеспеченностям, используемым при проектировании гидротехнических сооружений. В качестве расчетных створов для исследований приняты створы гидроузлов на водохранилищах Кыйы, Черкех и Ытык-Кюель, расположенных в среднем течении реки Татта.

Гидрологический режим реки Татта формируется преимущественно за счёт снегового питания. Основной фазой водного режима является весеннее половодье, начинающееся в первой декаде мая, с максимумом в середине месяца

и продолжительностью 25...40 дней. На долю весеннего половодья приходится до 80...90% годового стока.

В летне-осенний период устойчивый сток, как правило, отсутствует, река распадается на отдельные плёсы и озёра. Зимний сток отсутствует полностью вследствие промерзания русла и отсутствия подземного питания. Указанные особенности определяют высокую чувствительность гидрологического режима реки к климатическим колебаниям.

Анализ расчётных гидрологических характеристик (1% и 5% обеспеченности) показывает, что до 2000 года [1] максимальные расходы воды в период весеннего половодья были существенно ниже современных значений. Весенние паводки отличались меньшей интенсивностью, а экстремальные расходы воды формировались реже. Затем, начиная с первого десятилетия 2000-х годов (2006-2008 гг.) наблюдается рост максимальных расходов воды по всем основным обеспеченностям [6]. Особенно значительное увеличение характерно для редких паводков (1-5% обеспеченности), что свидетельствует об усилении экстремальности гидрологического режима реки Татта (рис. 3.18, 3.19).

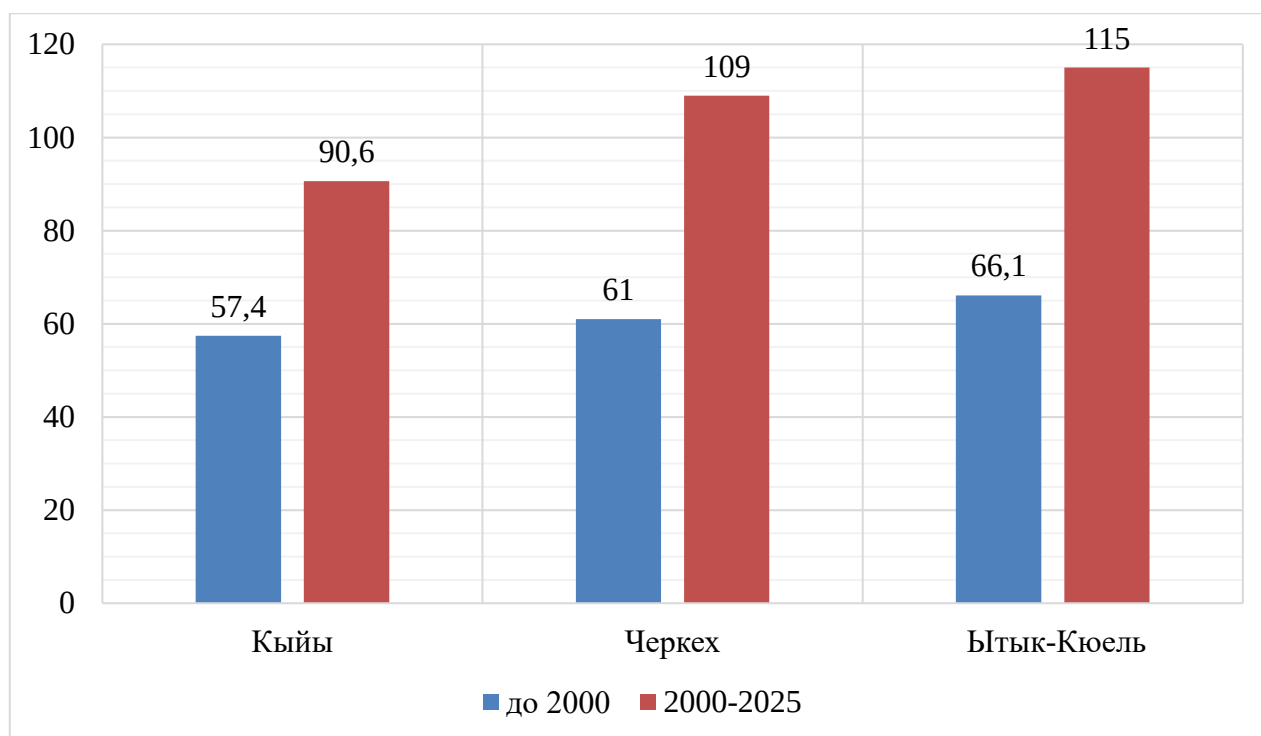


Рисунок 3.18 - Максимальные расходы 1 % обеспеченности до 2000 г. и в 2000-2025 гг. в расчетных створах р. Татта, м³/с

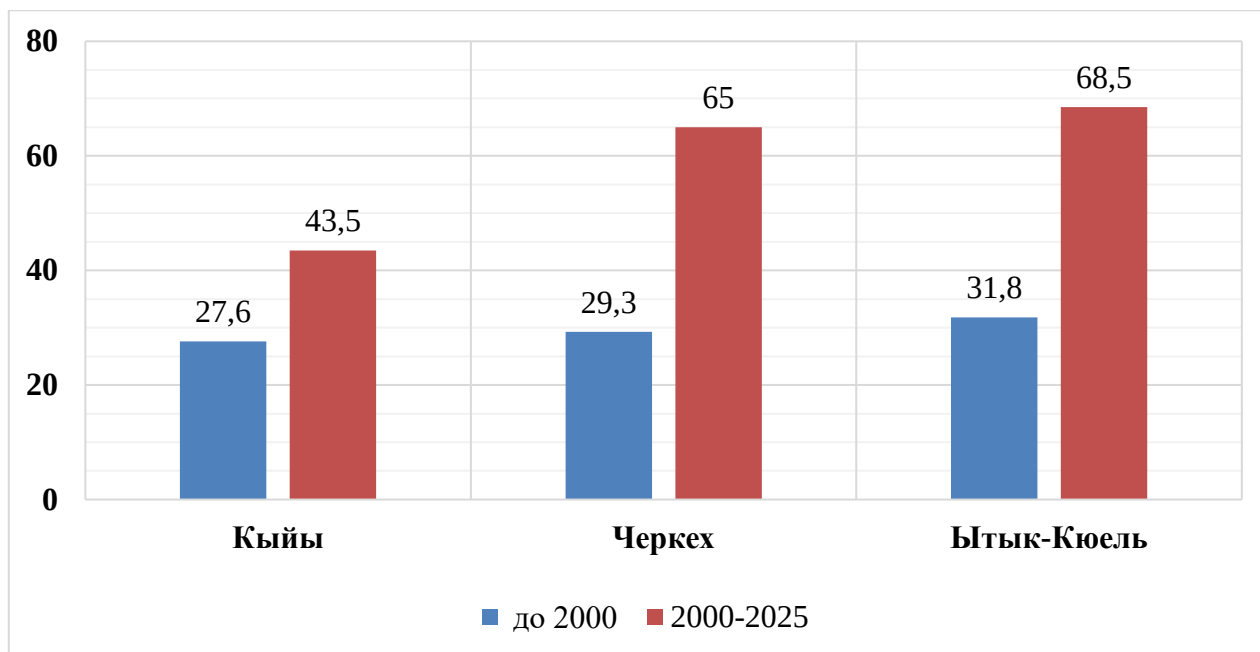


Рисунок 3.19 - Максимальные расходы 5% обеспеченности до 2000 г. и в 2000-2025 гг. в расчетных створах р. Татта, м³/с

Увеличение расчётных расходов воды после 2000 года привело к необходимости пересмотра параметров гидротехнических сооружений, расположенных на реке Татта. Как видно из рисунка 3.18, расчётный расход воды 1 % обеспеченности в створе Ытык-Кюель увеличился с 66,1 до 115 м³/с, что потребовало корректировки пропускной способности водосбросных сооружений и отметок форсированных уровней воды. Гидротехнические сооружения, запроектированные по данным до 2000 года, в современных условиях не обеспечивают требуемый уровень надёжности без актуализации расчётных характеристик. Это особенно важно для сооружений, возводимых на многолетнемерзлых основаниях, чувствительных к изменению фильтрационных и температурных режимов.

Рост максимальных расходов воды реки Татта в современный период, на наш взгляд, связан с изменением климатических условий Центральной Якутии. Повышение температуры воздуха и более раннее начало снеготаяния приводят к ускоренному формированию весеннего половодья и увеличению пиковых расходов воды. Дополнительное влияние оказывает деградация многолетнемерзлых грунтов, сопровождающаяся снижением аккумулирующей способности водосбора и ростом поверхностного стока. В этих условиях применение усовершенствованных конструктивных решений гидротехнических сооружений является необходимым элементом адаптации водного хозяйства и гидромелиорации к изменяющимся природным условиям.

Выводы. Таким образом, установлено, что до 2000 года расходы воды реки Татта были ниже по сравнению с современным периодом. В последующие десятилетия наблюдается рост максимальных расходов весеннего половодья по всем основным обеспеченностям, наиболее выраженным для редких паводков. Увеличение расчётных расходов воды обуславливает необходимость пересмотра параметров и конструктивных решений гидротехнических сооружений, требует усовершенствования инженерных решений при эксплуатации сооружений в условиях многолетнемерзлых грунтов.

Список использованных источников

1. Водохозяйственный расчет по реке Татта Чурапчинского и Таттинского улусов: проект ГУП трест ЯкутГИСИЗ 2002 г. // Ген. дир. Федоров П.Ф. 2002. – 100 с.
2. Грунтовые плотины в криолитозоне России / Р.В. Чжан, С.А. Великин, Г. И. Кузнецов, Н. В. Крук. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2019. – 427 с. – ISBN 978-5-6043021-1-8. – DOI 10.21782/B978-5-6043021-1-8.
3. Лоскин, М.И. Развитие сельскохозяйственных мелиораций и повышение водообеспеченности в условиях многолетней мерзлоты при глобальном изменении климата в Республике Саха (Якутия): диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Лоскин Михаил Иванович, 2024. – 331 с.
4. Демьян Николаевич Слепцов. Воспоминания. / [сост. Л.И. Сысолятина; лит. ред. С.А. Попов-Семен Тумат] – Якутск: Бичик, 2005. – 128 с. («Ими гордится Якутия»).
5. Слое Л. Н. Вопросы проектирования водозаборных узлов лиманного орошения в Центральной Якутии. - Якутск: Якут. кн. изд-во, 1968. – 112 с.
6. Строительство гидроузла на р. Татта в районе с. Ытык-Кюель Таттинского улуса, РС (Я): проектная документация ООО «Гидропроект» 2022 г. // Ген. дир. Максимов П.Е. 2022. – 142 с.

References

1. Water management calculation for the Tatta river in Churapchinsky and Tattinsky districts: a project of the State Unitary Enterprise trust Yakuttisiz in 2002 // Gen. dir. Fedorov P.F. 2002. – 100 p.
2. Ground dams in the cryolithozone of Russia / R.V. Zhang, S.A. Velikin, G. I. Kuznetsov, N.V. Kruk. Novosibirsk: Academic Publishing House Geo, 2019. - 427 p. ISBN 978-5-6043021-1-8. DOI 10.21782/B978-5-6043021-1-8.
3. Loskin, M.I. Development of agricultural land reclamation and increased water availability in permafrost conditions with global climate change in the Republic of Sakha (Yakutia): Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Loskin Mikhail Ivanovich, 2024. – 331 p.
4. Demyan Nikolaevich Sleptsov. Memories. / [comp. L.I. Sysolyatina; lit. ed. by S.A. Popov-Semyon Tumat] – Yakutsk: Bichik, 2005. – 128 p. ("Yakutia is proud of them").
5. Strata L. N. Issues of designing water intake units for estuary irrigation in Central Yakutia. Yakutsk: Yakut Publishing House, 1968. - 112 p.

6. Construction of a hydroelectric power plant on the Tatta River in the area of the village of Ytyk-Kyuel in Tattinsky ulus, RS (Ya): project documentation of LLC Gidroproekt in 2022 // Gen. dir. Maximov P.E. 2022. – 142 p.

3.15 УВЛАЖНЕННОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

Потепление климата в последние десятилетия стало одним из ключевых факторов трансформации природных систем Восточной Европы. Для Беларуси эта проблема имеет особую актуальность, поскольку сельскохозяйственное производство страны в значительной степени зависит от соотношения тепловых ресурсов и атмосферного увлажнения. Рост температуры воздуха, изменение сезонного распределения атмосферных осадков, увеличение повторяемости засух и одновременное усиление экстремальности осадков приводят к ухудшению водного режима сельскохозяйственных земель. В этих условиях оценка увлажненности уже не может ограничиваться анализом только годовых сумм осадков, необходим учет испаряемости, внутрисезонной изменчивости и частоты аномально сухих периодов [3, 4].

Современные исследования показывают, что изменение климата на территории республики проявляется прежде всего в росте температуры воздуха, смещении сроков сезонов года и трансформации влагообеспеченности. В работе [4] показано, что температурный режим в последние десятилетия изменяется быстрее, чем происходят однонаправленные изменения осадков. Это обстоятельство принципиально важно для сельского хозяйства. Даже при отсутствии резкого снижения сумм атмосферных осадков повышение температуры ведет к росту потенциального испарения и, следовательно, к повышению риска дефицита влаги. Для оценки таких изменений требуется переход от простого описания осадков к анализу интегральных показателей влагообеспеченности, позволяющих связать приход влаги и тепловой режим.

Одним из наиболее распространенных для агроклиматических исследований показателей является гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК). Его применение позволяет оценивать условия влагообеспеченности вегетационного периода в тесной связи с тепловыми ресурсами. Для территории Беларуси изменение ГТК и повторяемости экстремальных условий увлажнения в период потепления климата было представлено в работе [1], которая показывает, что в современных условиях усиливается пространственная контрастность увлажнения, а также изменяется повторяемость как недостаточного, так и избыточного увлажнения.

В последние годы все большее распространение получило применение стандартизированных индексов засушливости, прежде всего SPI и SPEI [6]. Их преимущество состоит в возможности анализа засух разной продолжительности – от краткосрочных атмосферных до более длительных агроклиматических и гидрологических. При этом SPI основан только на осадках, тогда как SPEI дополнительно учитывает испаряемость и потому лучше отражает последствия потепления климата для влагообеспеченности территории. Значения SPEI разного временного масштаба позволяют надежно выделять годы сильной и экстремальной засухи, а интенсивность засухи зависит не только от дефицита осадков, но и от положительных аномалий температуры воздуха [9].

В исследовании экстремальных проявлений в режиме увлажнения территории Беларуси установлено, что в период современного потепления зимние осадки в стране увеличиваются, однако одновременно в теплый сезон сокращается продолжительность их выпадения, растут суточные максимумы осадков, увеличивается число сухих дней, а повторяемость атмосферных засух различных градаций возрастает на большинстве станций [3]. В более поздней работе [2] показано увеличение повторяемости засух на территории Беларуси в связи с изменениями атмосферной циркуляции в Атлантико-Европейском регионе.

Изменения увлажнения на территории Белорусского Полесья имеют не только метеорологические, но и выраженные почвенно-агроландшафтные последствия, поскольку дефицит атмосферного увлажнения отражается на запасах продуктивной влаги и увеличении агроклиматических рисков [5]. Тем самым подтверждается, что для Беларуси в целом проблема увлажненности должна рассматриваться как многоуровневая – от атмосферного увлажнения и его аномалий до реальной влагообеспеченности почв и сельскохозяйственных культур.

Важное значение имеет выявление пространственно-временных закономерностей трансформации увлажненности сельскохозяйственных земель Беларуси в условиях потепления климата на основе данных метеорологических наблюдений. К основным задачам относится анализ многолетних изменений температуры воздуха и атмосферных осадков в Беларуси, оценка динамики агроклиматических показателей увлажнения сельскохозяйственных земель, выявление пространственно-временных особенностей изменения ГТК, SPI и SPEI, установление региональных различий в проявлении недостаточного и избыточного увлажнения, определение территорий повышенного агроклиматического риска в условиях потепления климата.

При проведении исследований использованы месячные данные о суммах атмосферных осадков и средней температуре воздуха по 36 метеорологическим станциям Беларуси за период 1950–2023 гг., рассмотрены годовые и сезонные суммы атмосферных осадков, температурный режим, показатели, отражающие соотношение влаги и тепла, а для выявления особенностей климатической динамики выполнено сравнение данных по периодам 1950–1980, 1981–2000 и 2001–2023 гг.

В качестве основного агроклиматического показателя принят ГТК, характеризующий влагообеспеченность вегетационного периода. Для оценки аномалий увлажнения и засушливости применены стандартизированные индексы SPI и SPEI на временных масштабах 3, 6 и 12 месяцев. Потенциальная испаряемость оценивалась по температурным данным, после чего рассчитывалась разница между осадками и испаряемостью и отношение осадков к потенциальной испаряемости, что позволило перейти от анализа только атмосферных осадков к более полной характеристике увлажненности. Полученные при проведении исследований осредненные за период 1950–2023 гг. для территории Беларуси климатические показатели приведены в таблице 3.9.

Обозначения в таблице: Р – атмосферные осадки, мм; PET – потенциальная испаряемость, мм; CWB – разница между осадками и испаряемостью, мм; Т – температура воздуха, °С; ГТК – гидротермический коэффициент Селянинова.

Таблица 3.9 – Осредненные для территории Беларуси климатические показатели за период 1950–2023 гг.

Период, гг.	Р год, мм	PET год, мм	CWB год, мм	Т год, °С	Р апр- сент, мм	PET апр- сент, мм	CWB апр- сент, мм	Т апр- сент, °С	ГТК
1950-1980	605	576	29	5,8	371	540	-169	13,5	1,44
1981-2000	635	590	45	6,6	390	549	-159	13,9	1,48
2001-2023	661	622	39	7,6	384	575	-191	15,0	1,38

В годовом периоде наблюдается одновременный рост температуры, атмосферных осадков и потенциальной испаряемости. Если в 1950–1980 гг. средняя температура воздуха составляла 5,8°С, то в 2001–2023 гг. она повысилась до 7,6°С. Годовые осадки за тот же период увеличились с 605 до 661 мм, однако одновременно возросла и потенциальная испаряемость с 576 до 622 мм. В результате чего годовой водный баланс остается положительным, без существенных изменений.

Ранее нами было установлено [7], что годовые суммы атмосферных осадков увеличиваются практически по всей Беларуси, достигая наибольших

разностей (свыше 60 мм) в районе Припятского Полесья и на северо-востоке Витебской области. Однако в центральной и восточной части Беларуси осадки остаются практически без изменений. При этом рассматривалась разность между периодами 1975–2004 и 1945–1974 гг. – до и после масштабных мелиоративных мероприятий на территории Беларуси.

Наибольший интерес вызывает анализ теплого периода. Атмосферные осадки апреля-сентября в 2001-2023 гг. не превышают уровень 1981-2000 гг., тогда как потенциальная испаряемость в этот период возрастает до 575 мм. Поэтому климатический водный баланс за апрель-сентябрь становится наиболее отрицательным (-191 мм), а ГТК снижается по сравнению с периодом 1981–2000 гг. Это означает, что в условиях потепления климата влагообеспеченность сельскохозяйственных земель в вегетационный период снижается в первую очередь из-за роста испаряемости.

Линейные тренды изменения климатических показателей за 10 лет показывают следующие результаты: Т год, °С (+0,36); Р год, мм (+13,0); РЕТ год, мм (+8,71); CWB год, мм (+4,32); Т апр-сент, °С (+0,28); Р апр-сент, мм (+3,50); РЕТ апр-сент, мм (+6,33); CWB апр-сент, мм (-2,82); ГТК (-0,01).

Для сельскохозяйственных земель ключевым становится не столько годовое увлажнение, сколько сезонный дефицит влаги.

Ранее нами получены результаты, свидетельствующие о росте максимальных температур воздуха на 0,1–0,4°C за 10 лет, еще более значимым было увеличение зимних минимальных температур воздуха с трендом 0,4–1,1°C за 10 лет, при этом исследовался период 1950–2013 гг. [8].

Для агроклиматической интерпретации полученных результатов необходимо анализировать не только годовые суммы и теплый период, а также интегральные показатели типа ГТК (рисунок 3.20).

Рисунок 3.20 показывает, что ГТК имеет слабую общую тенденцию к снижению (-0,01 за 10 лет), но во временном ряду особенно заметно его снижение после 2000 года. Минимальные значения отмечены в 2002 (0,86), 1959 (0,88), 1951 (0,93), 1992 (1,00) и 2023 (1,00) гг., а максимальные – в 1962 (2,16), 1998 (2,13), 1980 (1,97), 1977 (1,91) и 1957 (1,91) гг. Таким образом, в современный период повышается вероятность лет с недостаточным увлажнением, тогда как средний рост осадков уже не компенсирует увеличение температурного фактора.

Интерпретация полученных ГТК следующая: <0,4 – годы сухие, 0,4...0,7 – очень засушливые, 0,7...1,0 – засушливые, 1,0...1,3 – слабозасушливые, 1,3...1,6 – оптимальные, >1,6 – влажные. Наиболее сухие годы отмечаются в середине 20 века, так и в современный период. Это указывает на то, что потепление не устраняет межгодовую изменчивость, а, напротив, придает

ей дополнительную остроту, на фоне общего роста температуры отдельные засушливые годы становятся особенно чувствительными для сельского хозяйства.

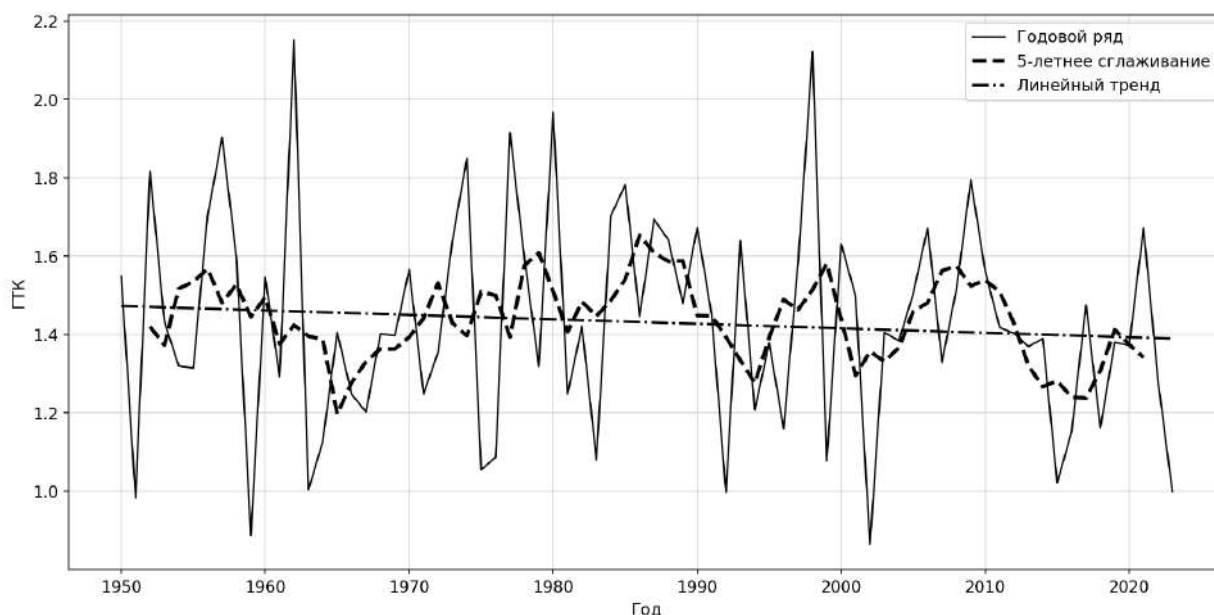


Рисунок 3.20 – Динамика среднего по метеостанциям Беларуси ГТК

В таблице 3.10 приведены данные по станциям, где выявлены наибольшие изменения климатических характеристик за периоды 2001–2023 и 1950–1980 гг. Максимальное изменение температуры отмечается, прежде всего, на станциях, расположенных на севере, востоке и юге. Наиболее выраженный рост температуры отмечен в Витебске, Гомеле, Пинске и Жлобине. Это говорит о том, что рост температуры охватывает практически всю территорию Беларуси, но его интенсивность территориально неоднородна. Для сельскохозяйственных земель это означает различную степень усиления испаряющей способности атмосферы, а значит и различную интенсивность изменения влагообеспеченности. Максимальный прирост годовых атмосферных осадков характерен для Витебска, Костюковичей, Полоцка и Житковичей. Однако сопоставление этих данных с динамикой ГТК показывает, что даже значительный прирост годовой суммы осадков не всегда приводит к улучшению условий увлажнения вегетационного периода. Это подтверждает необходимость комплексного учета осадков и температуры. Наиболее сильное уменьшение ГТК наблюдается в Березино, Бобруйске, Гродно, Могилеве, Сенно и Орше. Данный результат особенно важен, поскольку снижение ГТК означает не просто изменение осадков, а ухудшение соотношения между приходом влаги и тепловыми ресурсами. Следовательно, риск недостаточного увлажнения может возрастать не только на юге страны, но и в центральных и северо-восточных районах при

неблагоприятном сочетании повышенных температур и дефицита осадков теплого периода.

Таблица 3.10 – Станции, где выявлены наибольшие изменения температуры воздуха, атмосферных осадков, ГТК (2001–2023 гг. относительно 1950–1980 гг.)

Станция	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	Станция	$\Delta P, \text{мм}$	Станция	$\Delta \text{ГТК}$
Витебск	2,2	Витебск	160	Березино	-0,18
Гомель	2,2	Костюковичи	120	Бобруйск	-0,18
Пинск	2,1	Полоцк	96	Гродно	-0,17
Жлобин	2,1	Житковичи	95	Могилев	-0,16
Сенно	2,0	Гомель	83	Сенно	-0,16
Минск	2,0	Минск	82	Орша	-0,15
Марьина Горка	2,0	Василевичи	76	Лепель	-0,15
Полоцк	1,9	Верхнедвинск	71	Марьина Горка	-0,13

Используемые в работе индексы SPI и SPEI показывают: SPI-3 – краткосрочную и сезонную засуху, особенно для теплого периода и часто используется для оценки метеорологической и частично сельскохозяйственной засухи; SPI-12 – длительный дефицит или избыток осадков за годовой период, он лучше отражает устойчивые многомесячные аномалии увлажнения и может быть связан с общим водным режимом исследуемой территории; SPEI-3 – краткосрочную засуху, но уже с учетом температуры и испаряемости, если лето жаркое, SPEI-3 обычно становится более отрицательным, чем SPI-3; SPEI-6 – полугодовой дефицит влаги, например за теплый период, он особенно информативен для сельского хозяйства и оценки агроклиматического риска; SPEI-12 – долговременную засушливость или переувлажнение уже с учетом температурного фона.

В таблице 3.11 приведена повторяемость сухих месяцев в теплый период года, при это используются следующие критерии засушливости: $\geq 2,0$ – экстремально влажные условия; 1,5...1,99 – очень влажные; 1,0...1,49 – умеренно влажные; -0,99...0,99 – близко к норме; -1,0...-1,49 – умеренная засуха; -1,5...-1,99 – сильная засуха; $\leq -2,0$ – экстремальная засуха.

По SPI-3 доля сухих месяцев в 21 веке ниже, чем в середине 20 века, то есть по одним только атмосферным осадкам картина не выглядит резко неблагоприятной. Однако по SPEI-3 доля сухих месяцев, напротив, возрастает с 15,2 до 17,8%, а доля более сильных сухих событий ($\text{SPEI-3} < -1,5$) также увеличивается. На рисунке 3.21 приведена динамика SPI-12 и SPEI-12 осредненная по метеостанциям Беларуси за период 1950–2023 гг.

Таблица 3.11 – Повторяемость сухих месяцев апреля-сентября, %

Период, гг.	SPI-3 < -1	SPI-3 < -1,5	SPEI-3 < -1	SPEI-3 < -1,5	SPEI-6 < -1	SPEI-12 < -1
1950-1980	19,1	9,1	15,2	6,3	18,6	19,6
1981-2000	14,2	5,6	16,0	6,5	12,8	11,9
2001-2023	12,1	4,6	17,8	7,6	16,0	15,4

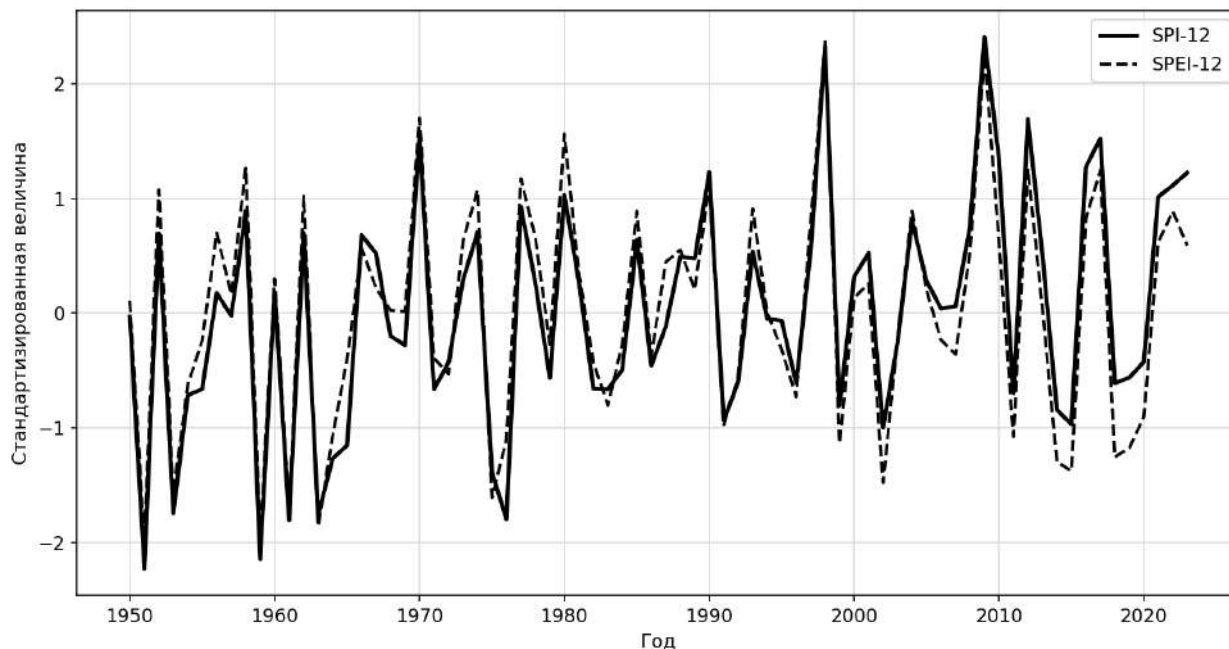


Рисунок 3.21 – Годовые значения SPI-12 и SPEI-12

В ряде лет линии SPI-12 и SPEI-12 следуют синхронно, однако SPEI-12 нередко принимает более отрицательные значения. Особенно важно, что в последние десятилетия расхождение между ними возрастает, это означает дополнительный вклад температурных факторов. При этом, годы, которые по осадкам выглядят лишь умеренно сухими, по водному балансу оказываются существенно напряженнее. В таблице 3.12 приведены метеостанции, по которым произошло наибольшее изменение климатического водного баланса в сторону дефицита между периодами 1950–1980 и 2001–2023 гг.

Таблица 3.12 – Станции с наиболее сильным изменением CWB апреля-сентября между периодами 1950-1980 и 2001-2023 гг.

Станция	CWB 1950–1980, мм	CWB 2001–2023, мм	Изменение, мм
Лепель	-149,8	-204,1	-54,4
Гродно	-168,9	-222,0	-53,0
Березино	-155,2	-203,3	-48,1
Сенно	-145,7	-192,5	-46,7
Лынтупы	-108,1	-148,3	-40,3
Жлобин	-190,5	-228,7	-38,2
Орша	-149,6	-186,4	-36,7
Пружаны	-173,4	-209,7	-36,3

Наибольшее ухудшение водного баланса отмечено в Лепеле и Гродно. Это показывает, что усиление дефицита влаги характерно не только для юга, но и для северо-восточных, центральных и западных районов. Следовательно, речь идет о сложной пространственной перестройке режима увлажнения.

В таблице 3.13 приведены годы, в которые наблюдались наибольшие отклонения от нормы климатического водного баланса.

Таблица 3.13 – Годы с наибольшими отклонениями от нормы климатического водного баланса

Наиболее засушливые годы	CWB, мм	Наиболее влажные годы	CWB, мм
1951	-121,9	1998	225,3
1959	-119,3	2009	216,2
1963	-111,4	1970	172,2
1961	-99,9	1980	161,2
1975	-91,6	1958	137,6

Самые неблагоприятные по годовому CWB годы по-разному распределены во временном ряду и приходятся как на середину 20 века, так и на более позднее время. Это означает, что современное потепление не делает каждый год автоматически более сухим, а смещает фоновые условия таким образом, что даже умеренно сухой по осадкам год может приводить к более сильному дефициту влаги.

В таблице 3.14 представлены метеостанции, по которым произошло наибольшее увеличение повторяемости краткосрочных и сезонных засух между периодами 1950–1980 и 2001–2023 гг.

Таблица 3.14 – Станции с наибольшей повторяемостью сухих месяцев по SPEI-3 в 2001–2023 гг. и с наибольшим ростом этого показателя

Станция	1950–1980, %	2001–2023, %	Изменение, %
Брагин	12,9	23,9	11,0
Борисов	14,0	22,5	8,5
Жлобин	12,4	21,7	9,4
Орша	12,9	21,7	8,8
Гомель	15,6	21,0	5,4
Горки	10,8	20,3	9,5
Славгород	12,9	20,3	7,4
Гродно	12,9	20,3	7,4

В современный период наибольшая доля сухих месяцев по SPEI-3 зафиксирована на станциях Брагин, Борисов, Жлобин, Орша и Гомель. Максимальный рост повторяемости отмечен в Брагине, Горках, Жлобине и Орше. Таким образом, наиболее напряженные условия формируются в части юго-восточных, восточных и центральных районов страны. Таблица 3.15 характеризует наиболее сухие годы по значению индекса SPEI-12 и SPI-12.

Таблица 3.15 – Наиболее сухие годы по среднему по сети значению SPEI-12 и SPI-12

Год	SPEI-12	SPI-12
1964	-1,27	-1,33
1954	-1,24	-1,51
1976	-1,20	-1,52
2015	-1,16	-0,95
1952	-0,94	-1,33

Наиболее сухие годы по SPEI-12 в ряде случаев характеризуются более отрицательными значениями по сравнению со SPI-12.

Полученные результаты показывают, что изменение увлажненности сельскохозяйственных земель Беларуси в условиях потепления климата носит сложный и неоднозначный характер. С одной стороны, по данным метеостанций за 1950–2023 гг. выявлен рост среднегодовой температуры воздуха, который является устойчивым фоновым процессом и проявляется практически на всей территории страны. С другой стороны, динамика атмосферных осадков не демонстрирует столь же однозначного ухудшения условий влагообеспечения, годовые суммы осадков в среднем по сети станций имеют тенденцию к увеличению, однако это увеличение не приводит к пропорциональному улучшению увлажненности сельскохозяйственных земель.

С агропроизводственной точки зрения полученные результаты имеют важное практическое значение. Снижение устойчивости увлажнения вегетационного периода может приводить к увеличению повторяемости лет с неблагоприятными условиями для зерновых, кормовых и пропашных культур, прежде всего в критические фазы роста. Усиление дефицита влаги при сохранении или даже некотором увеличении годовых осадков указывает на необходимость пересмотра и планирования адекватных мелиоративных мероприятий. Для территории Беларуси резко возрастает потребность в орошении засушливых земель, фактически перевод осушительных систем в осушительно-оросительные.

Вместе с тем полученные результаты требуют аккуратной интерпретации. И использованные индексы характеризуют прежде всего климатическую составляющую увлажненности и не учитывают в полной мере различия почвенных условий, водно-физических свойств почв, глубины грунтовых вод, мелиоративного состояния земель и особенностей землепользования. Поэтому выявленные закономерности следует рассматривать как климатическую основу пространственной дифференциации влагообеспеченности сельскохозяйственных земель. Дальнейшее развитие исследования целесообразно связывать с привлечением данных о почвах, запасах продуктивной влаги, структуре посевных площадей и урожайности культур.

Таким образом, обсуждение результатов позволяет сделать вывод, что в условиях потепления климата увлажненность сельскохозяйственных земель Беларуси определяется уже не только количеством атмосферных осадков, но в возрастающей степени – усилением температурных факторов и ростом потенциальной испаряемости. При общем увеличении годовых осадков вегетационный период становится более уязвимым к формированию дефицита влаги, а пространственная структура риска недостаточного увлажнения усложняется. Это подтверждает необходимость комплексной оценки агроклиматических изменений и разработки адаптационных мер для различных регионов Беларуси.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента Республики Беларусь.

Список использованных источников

1. Бровка, Ю. А. Изменение гидротермического коэффициента и повторяемости экстремальных условий увлажнения на территории Беларуси в период потепления климата / Ю. А. Бровка, И. В. Буяков // Природопользование. – 2020. – № 2. – С. 5–18. – DOI: 10.47612/2079-3928-2020-2-5-18.
2. Данилович, И. С. Повторяемость засух на территории Беларуси в связи с атмосферной циркуляцией в Атлантико-Европейском секторе / И. С. Данилович, Ю. А. Гледко, И.В. Тарасевич // Метеорология и гидрология. – 2023. – № 9. – С. 61–71. – DOI: 10.52002/0130-2906-2023-9-61-71.
3. Данилович, И. С. Экстремальные проявления в режиме увлажнения на территории Беларуси в условиях трансформации климата / И. С. Данилович, Н. Г. Пискунович // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. – 2021. – № 2. – С. 32–44. – DOI: 10.33581/2521-6740-2021-2-32-44.
4. Лысенко, С. А. Особенности современного изменения климата в Республике Беларусь / С. А. Лысенко, И. В. Буяков // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2020. – № 3. – С. 22–41. – DOI: 10.21513/2410-8758-2020-3-22-41.
5. Мельник, В. И. Оценка влагозапасов и повторяемости почвенных засух на территории Белорусского Полесья в период современного потепления климата / В. И. Мельник,

- И.В. Буюков, Н. Г. Пискунович, Т. Г. Шумская // Природные ресурсы. – 2020. – № 2. – С. 104–114.
6. Мешик, О. П. Методологические подходы к оценке засух и засушливых явлений / О.П. Мешик, М. В. Борушко // Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти члена-корр. РАСХН и НАН КР, академика МАЭП и РАВН Бочкарева Я. В. – Рязань : РГАТУ, 2024. – С. 59–65.
7. Мешик, О. П. Трансформация режима выпадения атмосферных осадков на территории Беларуси / О. П. Мешик, В. Е. Валуев // Вестник Брестского государственного технического университета. Сер. Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – 2005. – № 3(33). – С. 3–6.
8. Мешик, О. П. Экстремальные температуры воздуха на территории Беларуси / О.П. Мешик, И. А. Рыжковская // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2015. – № 2 (92). – С. 84–91.
9. Павлова, А. И. Оценка метеорологической засухи на основе стандартизированного индекса осадков и испаряемости / А. И. Павлова // Аграрный вестник Урала. – 2024. – Т. 24, № 5. – С. 605–616. – DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-05-605-616.

Reference

1. Brovka, Yu. A. Change in the hydrothermal coefficient and the repeatability of extreme humidification conditions in Belarus during the period of climate warming / Yu. A. Brovka, I.V. Buyakov // Nature Management. 2020. No. 2. pp. 5-18. DOI: 10.47612/2079-3928-2020-2-5-18.
2. Danilovich, I. S. Recurrence of droughts in Belarus due to atmospheric circulation in the Atlantic-European sector / I. S. Danilovich, Yu. A. Gledko, I. V. Tarasevich // Meteorology and hydrology. – 2023. – No. 9. – pp. 61-71. – DOI: 10.52002/0130-2906-2023-9-61-71.
3. Danilovich, I. S. Extreme manifestations in the humidification regime on the territory of Belarus in the context of climate transformation / I. S. Danilovich, N. G. Piskunovich // Journal of the Belarusian State University. Geography. Geology. – 2021. – No. 2. – pp. 32-44. – DOI: 10.33581/2521-6740-2021-2-32-44.
4. Lysenko, S. A. Features of modern climate change in the Republic of Belarus / S. A. Lysenko, I.V. Buyakov // Fundamental and applied Climatology. – 2020. – No. 3. – pp. 22-41. – DOI: 10.21513/2410-8758-2020-3-22-41.
5. Melnik V. I., Buyakov I. V., Piskunovich N. G., Shumskaya T. G. Assessment of moisture reserves and recurrence of soil droughts in the territory of the Belarusian Polesie during the period of modern climate warming // Natural Resources. - 2020. – No. 2. – pp. 104-114.
6. Meshik, O. P. Methodological approaches to the assessment of droughts and drought phenomena / O. P. Meshik, M. V. Borushko // An integrated approach to scientific and technical support of agriculture : materials of the International Scientific and Practical Conference, dedicated to in memory of corresponding member of RASKHN and NANKR, academician of MAEP and RAVN Bochkarev Ya. V. – Ryazan: RGATU, 2024. – pp. 59-65.
7. Meshik, O. P. Transformation of the precipitation regime in the territory of Belarus / O.P. Meshik, V. E. Valuev // Bulletin of the Brest State Technical University. Ser. Water management construction and thermal power engineering. – 2005. – № 3(33). – Pp. 3-6.

8. Meshik, O. P. Extreme air temperatures in Belarus / O. P. Meshik, I. A. Ryzhkovskaya // Bulletin of the Brest State Technical University. – 2015. – № 2 (92). – Pp. 84-91.
9. Pavlova, A. I. Assessment of meteorological drought based on a standardized precipitation and evaporation index / A. I. Pavlova // Agrarian Bulletin of the Urals. – 2024. – Vol. 24, No. 5. – pp. 605-616. – DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-05-605-616.

3.16 ОЦЕНКА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЗОВСКОГО МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА ПРИ ДИСКРЕТНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

В условиях учащения засушливых периодов и аномального маловодья в бассейне реки Дон актуализируется задача прогнозирования эксплуатационных параметров гидротехнических сооружений для предотвращения дефицита водных ресурсов. Эффективное управление водными ресурсами является критически важной задачей для обеспечения надежности оросительных систем [1]. Азовский магистральный канал, как и любой ключевой элемент водохозяйственного комплекса, требует оптимизации режимов работы с учетом как гидравлических характеристик, так и технических ограничений оборудования.

Целью данного исследования является оценка влияния работы насосной станции с учетом дискретной производительности на гидродинамические характеристики канала: объемы сброса, изменение уровней воды, скорости течения и параметры водного баланса.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: моделирование режима работы насосной станции с дискретным включением агрегатов; анализ изменения уровневого режима и скоростей течения; оценка расходных характеристик по участкам канала; выполнение расчета водного баланса и определение эффективности водопользования; сравнение результатов с работой канала при фактическом режиме эксплуатации.

Результаты работы могут быть использованы при разработке регламентов эксплуатации насосных станций магистральных каналов с учетом дискретности оборудования, обосновании мероприятий по повышению эффективности оросительных систем, а также при планировании работ по содержанию русла для минимизации фильтрационных потерь и предотвращения заиливания в условиях маловодья.

Целью исследования являлась оценка влияния работы насосной станции с учетом дискретной производительности (шаги $5+5 \text{ м}^3/\text{с}$) на гидродинамические характеристики Азовского магистрального канала (объемы сброса, изменение уровней воды).

Объектом исследования является Азовский магистральный канал с насосной станцией, расположенной в голове канала, и системой регулирующих

сооружений. Гидродинамическое моделирование выполнено в программном комплексе MIKE 11. Расчётный период охватывал интервал с апреля по июль 2025 г. [2, 3]. В качестве начальных условий принято отсутствие воды в русле канала на стартовую дату моделирования. Начало водозабора потребителями привязано к моменту достижения проектных отметок наполнения, что в расчётной схеме соответствует четвёртым суткам от начала расчёта. Интенсивность водопотребления задана постоянными временными рядами, воспроизводящими фактические объёмы забора воды за 2025 год.

Граничные условия сформированы следующим образом:

- на головном створе канала задан временной ряд расходов воды, отражающий работу насосной станции с учётом дискретности её производительности, сформированный на базе приведённого графика водопотребления;
- на конечном створе установлен динамический ряд уровней с ограничением по минимальной отметке, гарантирующей глубину потока не менее 1,8 м;
- эксплуатация регулирующих сооружений моделировалась в соответствии с фактическими данными о положении затворов за 2025 год.

Алгоритм управления насосной станцией реализован через правило минимально достаточного включения агрегатов: при требуемом расходе $Q < 5 \text{ м}^3/\text{с}$ активируется один агрегат (подача $5 \text{ м}^3/\text{с}$), при $5 \leq Q < 10 \text{ м}^3/\text{с}$ – два агрегата (подача $10 \text{ м}^3/\text{с}$) [4].

Гидравлические параметры модели приняты на основе калибровки по натурным данным: коэффициент шероховатости русла по Маннингу установлен на уровне 0,0396, коэффициент фильтрации грунтового основания – $0,07 \text{ м/сут}$ (эквивалент $7,26 \cdot 10^{-7} \text{ м/с}$ в расчётной среде MIKE) [5, 6].

Верификация модели осуществлена путём сопоставления расчётных значений с результатами гидрометрических измерений в семи контрольных створах, равномерно распределённых по трассе канала. Расхождение между моделируемыми и фактическими значениями по ключевым параметрам (уровень воды, расход, средняя скорость течения) не превысило 10%, что подтверждает достоверность модели и её применимость для оценки эксплуатационных режимов Азовского магистрального канала.

Анализ уровневого режима. В течение всего периода моделирования уровни воды в канале не превышали отметку бровки, что исключает риск перелива. Продольный профиль с расчётными уровнями демонстрирует стабильность системы (рисунок 3.22).

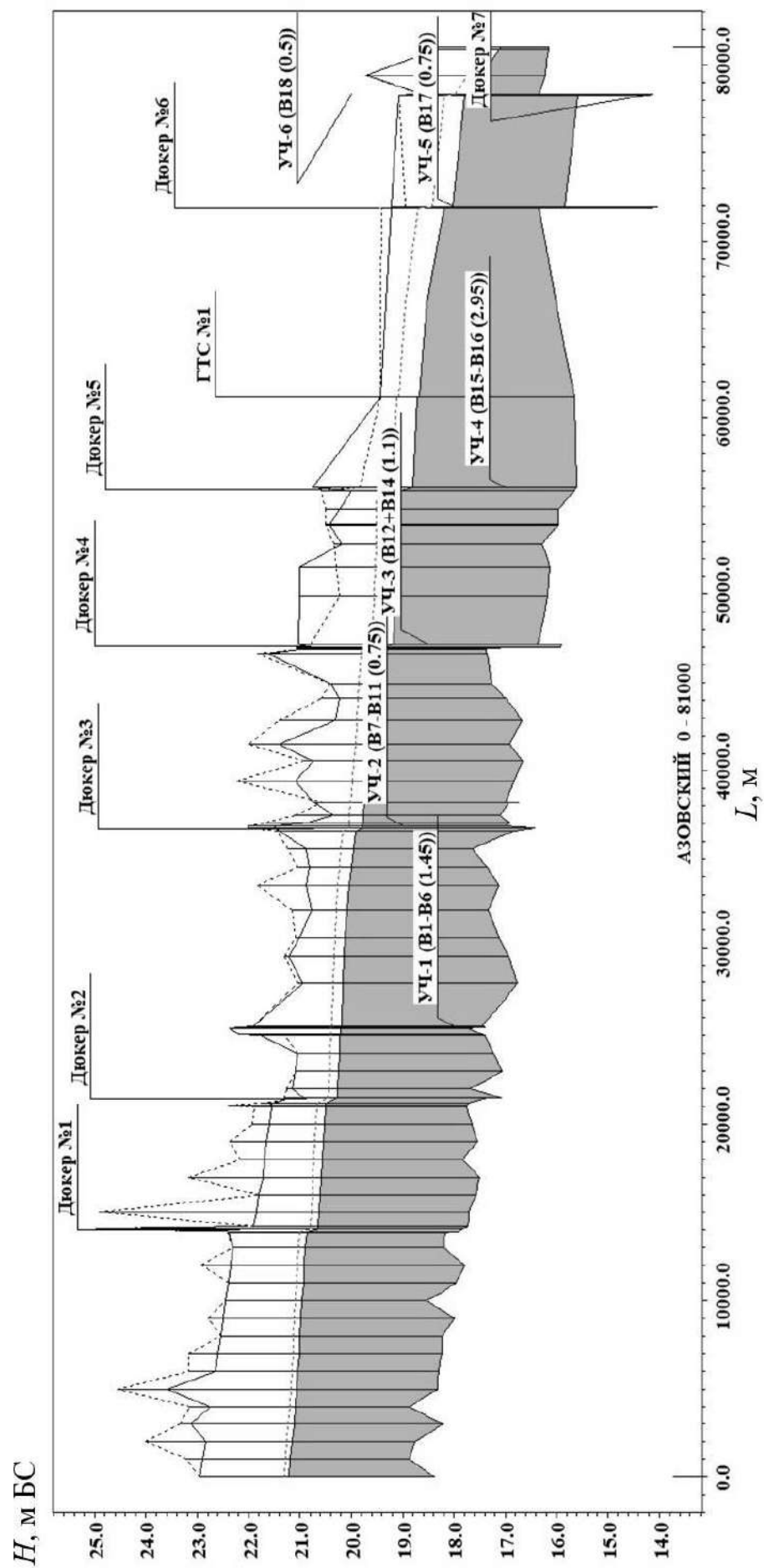


Рисунок 3.22 – Продольный профиль участка с расчетным уровнем воды

Моделирование выявило кратковременные понижения уровней ниже минимально допустимых отметок в отдельных створах водозабора в начальный период эксплуатации. На участке между дюкерами № 3 и 4 зафиксирован дефицит уровня в период с 9.05 по 13.05, достигающий в пике 0,55 м. После стабилизации гидравлического режима уровни воды вернулись в проектные пределы.

Сравнение с фактическим режимом эксплуатации показывает, что максимальный дефицит уровня на участке между дюкерами № 3–4 снизился с 0,88 м до 0,55 м. При фактическом режиме просадки наблюдались на нескольких участках (между дюкерами № 2–3, № 3–4) в течение длительного периода с 30 апреля по 14 июня, тогда как в моделируемом режиме дефицит локализован исключительно на участке между дюкерами № 3–4 в узком временном окне с 9 по 13 мая. Уровни воды в среднем и нижнем течении канала (участки УЧ-3, УЧ-4, УЧ-5) стабильно выше, чем при фактическом режиме, особенно в периоды пикового потребления.

Таким образом, работа насосной станции с увеличенной дискретной производительностью способствует повышению уровней воды по всей длине канала, компенсируя фильтрационные потери и улучшая условия водозабора в удаленных точках.

Анализ скоростей течения воды. Средняя скорость течения воды в канале по результатам моделирования составила 0,3 м/с, что на 38% ниже проектного значения (0,49 м/с). Данное снижение обусловлено интенсивным зарастанием русла.

Сравнение с фактическим режимом эксплуатации показывает, что средняя скорость в моделируемом режиме (0,3 м/с) на 36% выше, чем при фактическом режиме (0,22 м/с). Достижение скорости 0,3 м/с создает на большей части канала условия близкие к незаиляющим, что снижает интенсивность отложения наносов и замедляет процесс зарастания русла. Наиболее существенное повышение скоростей наблюдается в среднем и нижнем течении канала.

Результаты свидетельствуют, что даже без физического восстановления русла оптимизация режима работы насосной станции позволяет частично улучшить гидравлические характеристики системы. Однако, поскольку скорость все еще ниже проектной, для полной гидравлической устойчивости требуется комплексный подход.

Анализ расходных характеристик. На участке от дюкера № 2 до дюкера № 5 в моделируемом режиме наблюдается систематическое повышение средних значений расхода по сравнению с фактическим режимом. Например, на участке

№ 2–3 средний расход вырос с 7,87 до 8,54 м³/с, что является прямым следствием работы насосной станции с большей производительностью.

Моделируемый режим характеризуется значительно более узким диапазоном колебаний расхода по всей трассе. Если при фактическом режиме наблюдались резкие пики (до 11,03 м³/с на участке № 3–4), то в данном случае колебания сглажены (максимум 9,3 м³/с). Это связано с дискретным характером работы насосной станции и отсутствием участия регулирующих сооружений в перераспределении воды (рисунок 3.23).

Анализ водного баланса. Расчет водного баланса для моделируемого режима дал следующие результаты. Общий объем подачи воды насосной станции составил 61 766 тыс. м³. Фактическое водопотребление достигло 12 179 тыс. м³. Потери на фильтрацию и испарение составили 22 234 тыс. м³. Объем технического сброса достиг 27 353 тыс. м³.

Сравнительный анализ с фактическим режимом показывает, что объем подачи в моделируемом режиме превышает фактический (35 901 тыс. м³) более чем в 1,7 раза. Объем технического сброса вырос с 7 543 до 27 353 тыс. м³ – в 3,6 раза; доля сброса в общей подаче увеличилась с ~21% до 44%.

Потери на фильтрацию и испарение в моделируемом режиме на 37% выше, чем при фактическом режиме, что связано с более длительным пребыванием воды в заросшем и заиленном русле.

Таким образом, стратегия постоянной подачи воды без учета реального графика потребления приводит к существенной неэффективности водопользования и усугублению фильтрационных потерь.

Выводы. Внедрение режима с дискретной работой насосной станции (шаги 5+5 м³/с) приводит к повышению уровней воды по всей длине Азовского магистрального канала по сравнению с фактическим режимом эксплуатации, что улучшает условия водозабора в удаленных точках. Средняя скорость течения увеличивается до 0,3 м/с (на 36% выше фактического режима), приближаясь к порогу незаиляющего режима, что снижает интенсивность отложения наносов и может сократить частоту дноуглубительных работ. Дефицит уровней воды в моделируемом режиме становится менее выраженным и локализованным как по пространству, так и по времени, что повышает надежность системы водоснабжения.

Вместе с тем выявлена существенная неэффективность водопользования: 44% поданной воды уходит в технический сброс, а фильтрационные потери возрастают на 37% по сравнению с фактическим режимом. Это свидетельствует о том, что стратегия «постоянного заполнения канала» без учета реального потребления не является оптимальной.

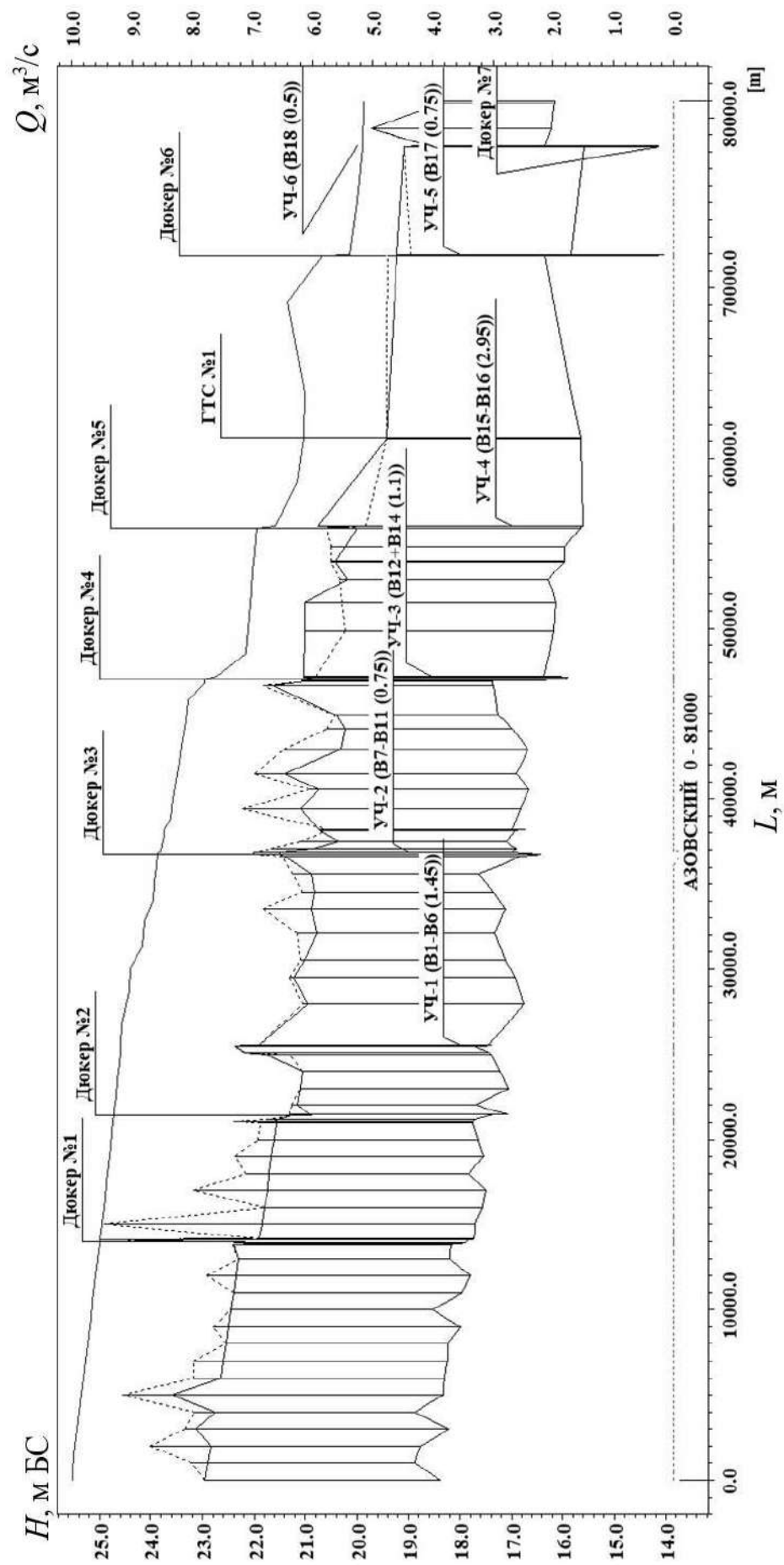


Рисунок 3.23 – Продольный профиль участка с изображением максимального расхода воды

Для достижения полной гидравлической устойчивости Азовского магистрального канала необходим комплексный подход, сочетающий оптимизацию режимов работы насосной станции с учетом дискретности оборудования, внедрение адаптивного управления, учитывающего график водопотребления, а также технические мероприятия по расчистке и содержанию русла для восстановления проектных гидравлических характеристик. Результаты исследования могут быть использованы при разработке регламентов эксплуатации насосных станций магистральных каналов и обосновании мероприятий по повышению эффективности ирригационных систем.

Список использованных источников

1. Сенчуков Г. А., Гостищев В. Д. Анализ состояния и перспективы водораспределения на Азовской оросительной системе // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 95, № 1. С. 137–155.
2. Азовская ОС. Паспорт мелиоративной системы // Информационный портал ФГБНУ ВНИИ «Радуга» [Электронный ресурс]. URL: <https://inform-raduga.ru/gts/599> (дата обращения: 23.01.2025).
3. Сенчуков Г. А., Пономаренко Т. С. Применение компьютерного моделирования режимов водопотребления и водораспределения для повышения эффективности организации водопользования на оросительных системах // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия / Т. С. Пономаренко, Г. А. Сенчуков. – 2016. – № 4(64) – С. 27–31.
4. Зарубин В. В., Титаренко Д. В., Бочкарева Н. А. Использование локального управления водораспределением при повышении эффективности оросительных систем // Вестник мелиоративной науки. 2021. № 1. С. 15–19.
5. Модуль графической визуализации водораспределения на мелиоративных водохозяйственных системах: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2025686461 / Клишин И. В., Кузьмичев А. А., Сенчуков Г. А., Гостищев В. Д., Рыжаков А.Н., Бреева А.В.; правообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. Заявка № 2025685535; заявл. 24.09.25; опубл. 01.10.25.
6. Кузьмичев А. А., Бреева А. В. Система учета и анализа использования водных ресурсов для целей мелиорации // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. № 3(91). С. 209–217.

References

1. Senchukov G. A., Gostischev V. D. Analysis of the state and prospects of water distribution in the Azov irrigation system // Ways to increase the efficiency of irrigated agriculture. 2025. Vol. 95, No. 1. pp. 137-155.
2. The Azov OS. Passport of the land reclamation system // Information portal of the Federal State Budgetary Scientific Research Institute "Raduga" [Electronic resource]. URL: <https://inform-raduga.ru/gts/599> (date of request: 01/23/2025).

3. Senchukov G. A., Ponomarenko T. S. The use of computer modeling of water consumption and water distribution modes to improve the efficiency of water use in irrigation systems // Ways to increase the efficiency of irrigated agriculture / T. S. Ponomarenko, G. A. Senchukov. – 2016. – № 4(64) – Pp. 27-31.
4. Zarubin V. V., Titarenko D. V., Bochkareva N. A. The use of local water distribution management in improving the efficiency of irrigation systems // Bulletin of Meliorative Science. 2021. No. 1. pp. 15-19.
5. Module for graphical visualization of water distribution in reclamation water management systems: certificate of state registration of a computer program No. 2025686461 / Klishin I. V., Kuzmichev A. A., Senchukov G. A., Gostischev V. D., Ryzhakov A. N., Breeva A.V.; copyright holder of the Russian Scientific Research institute of Land Reclamation problems. Application No. 2025685535; application No. 24.09.25; published on 01.10.25.
6. Kuzmichev A. A., Breeva A.V. The system of accounting and analysis of the use of water resources for land reclamation purposes // Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture. 2023. No. 3(91). pp. 209-217.

3.17 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОДОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ НАГРУЗКИ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

В настоящее время деградация земель представляет собой одну из ключевых глобальных экологических проблем, затрагивающих как экосистемы, так и социально-экономическое развитие, выступая одновременно причиной и следствием климатических изменений [1]. По оценкам [2,3], к началу XXI века около 24% площади суши подверглось деградации, что оказывает непосредственное влияние на благосостояние более 1,5 млрд человек, при этом антропогенная нагрузка на экосистемы продолжает возрастать. В частности, около 34% (1 660 млн га) сельскохозяйственных земель подвержены различным формам деградации [4]. Усиливающееся противоречие между растущим спросом на ресурсы (продовольствие, воду, энергию) и необходимостью сохранения экосистемных функций земельных ресурсов становится особенно острым в условиях изменения климата и учащения засух [5,6]. За последние десятилетия доля населения, пострадавшего от засух, существенно увеличилась, при этом засухи остаются одним из наиболее значимых природных факторов риска в глобальном масштабе.

Изменение климата усиливает частоту, продолжительность и интенсивность засушливых явлений [7], что в сочетании с ограниченностью земельных и водных ресурсов требует внедрения научно обоснованных

подходов к устойчивому землепользованию. Согласно определению Глобального экологического фонда (ГЭФ) [8], деградация земель представляет собой ухудшение их естественного потенциала, приводящее к снижению продуктивности и биоразнообразия. Результаты «Оценки экосистем на пороге тысячелетия» [9] подтверждают существенную утрату экосистемных функций вследствие трансформации землепользования. В этих условиях решение водохозяйственных проблем требует системного подхода, основанного на совершенствовании механизмов управления водными ресурсами и повышении эффективности функционирования водохозяйственного комплекса, который является значимым фактором антропогенного воздействия на природные системы.

Особую актуальность приобретает переход к модели устойчивого развития, обеспечивающей баланс между экономическим ростом и экологическими приоритетами, что отражено в международных стратегических документах, включая «Повестку дня на XXI век» (Рио-де-Жанейро, 1992) и «Йоханнесбургскую декларацию по устойчивому развитию» (2002). При этом сельское хозяйство остается крупнейшим потребителем пресной воды, на долю которого приходится более 60% мирового водопотребления. Неэффективное водопользование в орошаемом земледелии способствует подъему уровня грунтовых вод и усилению процессов засоления почв, что негативно сказывается на продуктивности агроэкосистем и снижает валовой сбор сельскохозяйственных культур [10].

В этой связи совершенствование водосберегающих технологий и методов мелиорации является приоритетным направлением обеспечения рационального использования водных ресурсов и повышения устойчивости агропромышленного комплекса.

Целью исследования являлась разработка и научное обоснование технологий рационального использования водных ресурсов в условиях аридной зоны на основе внедрения водосберегающих и мелиоративных решений.

Для достижения поставленной цели было предусмотрено решение следующих задач:

- анализ технико-экономической эффективности внедрения водосберегающих систем замкнутого водопользования в орошаемых агроландшафтах;
- разработка и обоснование рациональных технологий опреснения и повторного использования дренажно-сбросных вод;

– снижение уровня засоления почв в зоне аэрации при минимизации ресурсных затрат;

– формирование и обоснование мелиоративных систем нового поколения, соответствующих экологическим, экономическим и социальным требованиям устойчивого развития.

Исследование выполнено с использованием комплексного междисциплинарного подхода, учитывающего природно-климатические, гидрогеологические, гидрологические, а также экономические и технологические факторы функционирования мелиорируемых агроландшафтов юга Казахстана в условиях дефицита водных ресурсов. Методологической основой работы послужили положения рационального водопользования и устойчивого развития агропромышленного комплекса, предусматривающие оптимизацию водного режима и снижение антропогенной нагрузки на водные и земельные ресурсы.

В рамках исследования проведён анализ изменений почвенно-климатических и гидрогеологических условий, определяющих формирование водного баланса орошаемых территорий, включая оценку параметров дренажного стока, динамики уровня грунтовых вод, а также оросительных и поливных норм. При этом учитывались региональные особенности функционирования гидромелиоративных систем, их техническое состояние и степень износа, а также влияние маловодных периодов на водообеспеченность сельскохозяйственного производства [11].

Для обоснования эффективности внедрения технологий замкнутого водопользования применялись методы технико-экономического анализа и расчётные модели оценки водосбережения. Установлено, что оптимизация режимов орошения и повторное использование дренажно-сбросных вод позволяют сократить непроизводительные потери воды на 30...35%, а совершенствование оросительных систем обеспечивает дополнительную экономию до 15...20% [12].

Экспериментальные исследования включали изучение эффективности доочистки дренажно-сбросных вод при минерализации до 3 г/л с использованием природных сорбентов (сапропель, глины, цеолиты, вермикулиты). Оценка проводилась по показателям удаления растворённых солей, загрязняющих веществ и тяжёлых металлов, а также по влиянию на предотвращение вторичного загрязнения почв и грунтовых вод [13]. Применённые методы позволили обосновать целесообразность использования природных материалов для повышения экологической безопасности и эффективности водооборота в орошаемом земледелии.

Вода - важнейший экологический фактор, определяющий не только ход физиологических процессов в растениях, но их рост и продуктивность. Чтобы судить о зависимости жизнедеятельности растения от среды обитания, нужно знать водный режим растения, характеризующийся целым комплексом физиологических показателей и почвенные условия. Оптимизация водоудерживающей способности почв является первоочередной задачей. Если в почве достаточно доступной воды, создается положительный водный баланс растений. Существует ряд технологий, призванных сохранять и более эффективно использовать водные ресурсы, для выращивания сельскохозяйственных растений – укрывной материал, капельный полив, различные композиты. В последнее десятилетие в качестве абсорбента почвенной влаги в мировой практике стали использовать водопоглощающие полимеры (гидрогели), способные удерживать и отдавать воду в количествах, превышающих их массу в сотни раз. Данные свойства гидрогелей способствуют не только накоплению природной и дополнительной влаги в корнеобитаемом слое, но и снижают физическое испарение и улучшают структуру почвы. Находясь в гелеобразном состоянии, они обеспечивают оптимальный водный режим, питание растений [14-20].

По сведению Венгерских изготовителей, препарат «Water Retainer» позволяет существенно снизить потери на испарение, обеспечивает растения необходимым количеством воды. Благодаря эффекту увеличения влажности почвы развивается более здоровая растительность, что также влияет на урожайность. Улучшается усвоение удобрений, снижается риск вымывания нитратов. Более равномерное содержание влаги в почве приводит к активизации жизнедеятельности микроорганизмов. Научно доказано, что в условиях неорошаемого земледелия он оказывает положительное влияние на влажность почвы на глубине до 1 м. При его применении можно значительно сократить использование оросительной воды. Меньшее количество поливов, как свидетельствуют изготовители, значительно улучшает состояние почвы. Поэтому в целях изучения данного препарата в условиях южной зоны Казахстана на примере сероземной почвы Жамбылской области были проведены полевые исследования.

По гранулометрическому составу почвы опытного участка в расчётном слое 0...50 см в преобладающей части состоят из однородного тяжелого суглинка. По размерам во всех горизонтах преобладает фракция 0,01...0,005 мм - от 20,4 до 27,2%. Однако в отдельных горизонтах отмечается некоторое превышение, что способствует иссушению почвы. Плотность почвы в 0...30 см слое составляла 1,47 г/см³, в слое 0...50 см соответственно

1,56 г/см³. Наименьшая влагоемкость почвы в слое 0...50 см составляла 19,71%.

Исследования проводились на таких культурах как сахарная свекла и кукуруза на зерно, так как эти культуры для данной зоны являются основными, норма внесения препарата составляла 10 л/га, как рекомендовали производители. В поливной период предполивную влажность поддерживали на уровне 70...75% от наименьшей влагоемкости почвы (НВ). Поливы проводились на фоне капельного орошения.

За вегетационный период на контрольном варианте сахарной свеклы была подана оросительная норма порядка 8624,6 м³/га, тогда как на варианте с препаратом она составляла 7050,3 м³/га. При этом поливной период длился с 18.04 по 17.09, т.е. 150 дней. Общее количество поливов - 32, а поливная норма 46,5...618,5 м³/га.

На варианте с кукурузой на зерно оросительные нормы соответственно были 6662,8 м³/га и 5378,6 м³/га. При этом поливной период - с 29.04 по 25.08, т.е. 117 дней. Общее количество поливов - 27, а поливная норма находилась в пределах 66,6...562,0 м³/га.

Исследованиями установлено, что препарат «Water Retainer» обеспечивают поддержание предполивной влажности расчетного слоя почвы на 1% выше по сравнению с контрольным вариантом. Данные позволили на 100 м³/га снизить поливные нормы при каждом поливе.

Показатели урожайности возделываемых культур представлены в таблице 3.16. Из нее следует, что средняя урожайность кукурузы на зерно между рассматриваемыми вариантами имеет разницу в 8,4 ц/га. По сахарной свекле вариант с препаратом по сравнению с контролем был выше на 106,2 ц/га. Тем самым, увеличение урожайности для кукурузы на зерно составило 14,04%, а сахарной свеклы - 17,1%.

Таблица 3.16 – Урожайность зерна кукурузы и корнеплода сахарной свеклы, ц/га

Варианты	Повторность			Среднее
	I	II	III	
Урожайность зерна кукурузы				
Контроль	57,0	60,3	57,9	58,4
Препарат	64,7	68,2	67,5	66,8
Урожайность корнеплода сахарной свеклы				
Контроль	615,0	740,0	510,0	621,6
Препарат	612,0	1006,0	565,0	727,8

Применение препарата «Water Retainer» обеспечило экономию оросительной воды в размере 1574,3 м³/га на посевах сахарной свёклы и 1284,2 м³/га на посевах кукурузы на зерно. При этом экономия оросительной воды составила 18,2% для сахарной свёклы и 19,3% для кукурузы на зерно.

Таким образом для формирования эффективного сельскохозяйственного производства в засушливых климатических условиях южной зоны Казахстана использование препарата «Water Retainer» позволяет стабильно повышать урожайность зерновых и технических культур.

Кроме этого, лабораторно-полевыми исследованиями было установлено, что при внесении на 100 мл слабоминерализованной воды 5...10 мл ниже представленных препаратов, которые получены путем разведения в 1000 мл дистиллированной воды по 100 мг указанных наименований, свидетельствует о положительной динамике химического состава воды (таблица 3.17).

Таблица 3.17 - Химический состав препаратов, %

Наименование препаратов	анионы			катионы			Сумма солей	pH
	HCO ₃	CL	SO ₄	Ca	Mg	Na+K		
1.Зола	0,146	0,408	0,177	0,224	0,046	0,189	1,407	8,00
2.Глауконит	0,102	0,545	0,376	0,060	0,012	0,480	1,575	7,63
3.Глауконит + зола	0,512	0,994	0,864	0,550	0,274	0,118	3,334	8,58
При внесении на 100 мл слабоминерализованной воды 5 мл вышеуказанных препаратов динамика химического состава изменилась следующим образом								
1.Зола	0,039	0,202	0,023	0,028	0,056	0,018	0,366	7,25
2.глауконит	0,054	0,179	0,088	0,020	0,030	0,086	0,463	8,00
3.глауконит + зола	0,029	0,108	0,012	0,012	0,029	0,017	0,207	8,10
Минерализация воды	0,028	0,114	0,115	0,012	0,019	0,089	0,378	7,6
При внесении на 100 мл слабоминерализованной воды 10 мл вышеуказанных препаратов динамика химического состава изменилась следующим образом								
1.Зола	0,049	0,202	0,265	0,044	0,043	0,152	0,748	7,23
2.глауконит	0,059	0,187	0,042	0,020	0,034	0,076	0,418	7,25
3.глауконит + зола	0,044	0,128	0,028	0,020	0,019	0,067	0,306	7,70

Таким образом, при смешивании сбросных вод в соотношении 1:10 препаратов из местного сырья, как древесной золы или глауконита

обеспечивает опреснение минерализованной воды с 1,407...3,334% до 0,306...0,748% по сумме солей. Совмещенный препарат (глауконит + зола) способствует снижению минерализации воды до 0,306%, что по отношению минерализации самой воды на 0,072% ниже (таблица 3.17).

Представленные препараты, изготовленные из местного сырья, не требуя больших материальных затрат, обеспечивают определённую экономию поливной воды, снижают количество вносимых минеральных удобрений на 30...35%.

Исследуемые препараты в рассматриваемых вариантах оказывают положительное влияние на вынос ионов солей. Однако на препаратах из золы и глауконита отмечается наиболее низкий вынос иона-магния по сравнению с другими ионами. Препарат глауконит + зола способствовал наилучшему выносу ионов солей, значение его колебалось в пределах 88,5...98,8%. Сумма выноса анионов солей по сравнению с катионной частью превысила на 3,9% при внесении на 100 мл минерализованной воды 5 мл препарата и на 20,1% из глауконита + зола при 10 мл. Данное обстоятельство дает полное основание утверждать, что указанный препарат можно считать эффективным (таблица 3.18).

Таблица 3.18 – Показатель выноса ионов солей, %

Нормы внесения препаратов	анионы			катионы			Сумма, анионов/катионов
	HCO ₃	CL	SO ₄	Ca	Mg	Na +K	
Препарат зола (100 мг Золы на 1000 мл водопроводной воды)							
5 мл	77,6	61,4	92,2	88,2	13,9	93,5	231,2/195,6
10 мл	71,8	61,4	9,7	81,4	33,9	38,7	142,9/154,0
Препарат глауконит (100 мг Глауконит на 1000 мл водопроводной воды)							
5 мл	58,6	72,8	82,1	72,3	3,3	84,9	213,5/160,5
10 мл	54,6	71,6	91,5	72,3	+9,6	86,7	217,7/149,4
Препарат глауконит (100 мг Глауконит + зола на 1000 мл водопроводной воды)							
5 мл.	94,6	90,3	98,8	97,9	90,1	91,8	283,7/279,8
10 мл.	91,9	88,5	97,2	96,5	93,3	67,7	277,6/257,5

В технологическом аспекте наряду с подачей опресненной воды на поливы сельскохозяйственных культур её можно использовать в целях опрыскивания листовой поверхности возделываемых культур в начальной фазе развития, что обеспечит бурный рост растений за счёт создания микроклимата поля, защиту растений от вредителей и повышение почвенного плодородия.

Выводы

1. Технология замкнутого водопользования обеспечивает существенное повышение эффективности использования водных ресурсов в условиях их дефицита.
2. Использование дренажно-сбросных вод после доочистки способствует снижению водопотребления и улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель.
3. В засушливых климатических условиях южной зоны Казахстана использование препарата «Water Retainer» обеспечивает стабильное повышение урожайности зерновых и технических культур.
4. Снижение оросительных норм и потерь воды способствует экологической устойчивости агроландшафтов и эффективности земледелия.

Список использованных источников

1. Olsson L., Barbosa H., Bhadwal S., Cowie A., Delusca K., Flores-Renteria D., Stringer L., 2019. IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land 5 Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and 6 Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems (p. 1). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
2. Hori Y, Stuhlberger C., Simonett O. 2011. Desertification: A Visual Synthesis. UNCCD. Bonn, Germany.
3. Bai Z.G., Dent D.L., Olsson L., Schaepman M.E. 2008. "Identification by Remote Sensing". Global assessment of land degradation and improvement. Report 01, ISRIC – World Soil Information, Wageningen10
4. ФАО. 2021. Состояние Мировых Земельных и Водных Ресурсов для Производства Продовольствия и Ведения Сельского Хозяйства. Системы на Пределе. Сводный доклад 2021. Рим. <https://doi.org/10.4060/cb7654ru>
5. UNCCD. 2017. The Global Land Outlook, first edition. Bonn, Germany. https://knowledge.unccd.int/sites/default/files/2018-06/GLO%20Russian_Full_Report_rev1.pdf
6. UNCCD. 2019. The Global Land Outlook. Northeast Asia Thematic Report. Bonn, Germany. https://knowledge.unccd.int/sites/default/files/2019-08/GLOpercentage20Northeastpercentage20Asiapercentage20report_WEB.pdf
7. FAO. 2022. Drought and Agriculture. <https://www.fao.org/land-water/water/drought/droughtandag/en/>
8. Global Environment Facility. 2009. Investing in Land Stewardship. GEF's Efforts to Combat Land Degradation and Desertification Globally. https://www.thegef.org/sites/default/files/publications/Investing-land-degradationEnglish_0.pdf
9. Assessment Millennium Ecosystem. 2005. Ecosystems and Human Well-Being (Vol. 5). United States of America: Island press.
10. Капустина Т.А., Брыль С.В., Бочкарева А.И., Тарасенко Е.И. Водосберегающая технология при планировании внутрихозяйственного водопользования
11. Бубер А.Л., Добрачев Ю.П., Суханов Г.Н. Методические подходы к обоснованию развития и размещения водных мелиорации с учетом требований комплексного

использования и охраны водных объектов. / материалы международной конференции «мелиорация и проблемы восстановления сельского хозяйства в России», Москва, 2013, - с. 444-448

12. Хожанов Н.Н. и др. Энергетическая концепция развития системы земледелия Известия Горского государственного аграрного университета. №55 (ч.1), 2018. С. 20-26

13. Кирейчева Л.В., Андреева Н.П. Комплексные сорбенты для очистки сточных вод от органических соединений и ионов тяжелых металлов // Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение. 2009. № 1. С. 43-46.

14. Наумов П.В. Оптимизация влагообеспеченности почв с помощью полимерных гидрогелей / П.В. Наумов, Л.Ф. Щербакова, А.А. Околелова // Изв. Нижневолж. агроунивер. комплекса. 2011. № 4. С. 1-5.

15. Тибирьков А.П. Влияние полиакриламидного гидрогеля на структурно-агрегатный состав пахотного слоя светлокаштановой почвы Волго-Донского междуречья / А.П. Тибирьков, В.И. Филин // Изв. Нижневолж. агроунивер. комплекса. 2013. № 4. С. 1-5.

16. De Bell D.S. Growth and physiology of loblolly pine roots under various water table level and phosphorous treatments / D.S. De Bell, D.D. Hookand, W.H. McKee // J. For. Sci. 1984. Vol. 30. - Pp. 705–714.

17. Deren D. Agrogel usage in cultivation of trees planted in ridges / D. Deren, A. Szewczuk, E. Gudarowska // J. Fruit Ornamental Plant Res. 2010. Vol. 18, № 2. Pp. 520-529.

18. Кузин Е.Н. Влияние полимерной мелиорации и удобрений на структурное состояние чернозема выщелоченного и урожайность / Е.Н. Кузин, А.Н. Арефьев // Земледелие. 2013. № 2. С. 12-14.

19. Шилов А. Влияние системы удобрений и сильно-набухающего полимерного гидрогеля на урожайность пшеницы / А. Шилов, А. Плотников, В. Тарабаев // Главный агроном. 2013. № 2. С. 15-17.

20. Vdovina T.A. Introduction of moisture-holding polymer «Aquasorb» during landing wood-shrubby and fruit plants in the arid conditions of Kazakhstan / T.A. Vdovina, A.A. Vinokurov, O.A. Lagus, E.A. Isakova // Bulletin of the Karaganda University. Series Biology. Medicine. Geography. 2018. No. 4(92). Pp. 33-37.

References

1. Olsson L., Barbosa H., Bhadwal S., Cowie A., Delusca K., Flores-Renteria D., Stringer L., 2019. IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land 5 Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and 6 Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems (p. 1). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
2. Hori Y, Stuhlberger C., Simonett O. 2011. Desertification: A Visual Synthesis. UNCCD. Bonn, Germany.
3. Bai Z.G., Dent D.L., Olsson L., Schaepman M.E. 2008. “Identification by Remote Sensing”. Global assessment of land degradation and improvement. Report 01, ISRIC – World Soil Information, Wageningen10
4. FAO. 2021. The State of the World's Land and Water Resources for Food Production and Agriculture. The systems are at their Limit. Summary report 2021. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb7654ru>

5. UNCCD. 2017. The Global Land Outlook, first edition. Bonn, Germany. https://knowledge.unccd.int/sites/default/files/2018-06/GLO%20Russian_Full_Report_rev1.pdf
6. UNCCD. 2019. The Global Land Outlook. Northeast Asia Thematic Report. Bonn, Germany. https://knowledge.unccd.int/sites/default/files/2019-08/GLOpercentage20Northeastpercentage20Asiapercentage20report_WEB.pdf
7. FAO. 2022. Drought and Agriculture. <https://www.fao.org/land-water/water/drought/droughtandag/en/>
8. Global Environment Facility. 2009. Investing in Land Stewardship. GEF's Efforts to Combat Land Degradation and Desertification Globally. https://www.thegef.org/sites/default/files/publications/Investing-land-degradationEnglish_0.pdf
9. Assessment Millennium Ecosystem. 2005. Ecosystems and Human Well-Being (Vol. 5). United States of America: Island press.
10. Kapustina T.A., Bryl S.V., Bochkareva A.I., Tarasenko E.I. Water-saving technology in planning on-farm water use
11. Buber A.L., Dobrachev Yu.P., Sukhanov G.N. Methodological approaches to substantiating the development and placement of water reclamation, taking into account the requirements of integrated use and protection of water bodies. / proceedings of the International conference "Land reclamation and problems of agricultural rehabilitation in Russia", Moscow, 2013, pp. 444-448
12. Khozhanov N.N. et al. The energy concept of the development of the agricultural system, *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agraria universiteta*. No.55 (part 1), 2018. pp. 20-26
13. Kireicheva L.V., Andreeva N.P. Complex sorbents for wastewater treatment from organic compounds and heavy metal ions // *Water treatment, water treatment, water supply*. 2009. No. 1. pp. 43-46.
14. Naumov P.V. Optimization of soil moisture supply using polymer hydrogels / P.V. Naumov, L.F. Shcherbakova, A.A. Okolelova // *Izv. Nizhnevolzhsky. agrouniver. the complex*. 2011. No. 4. pp. 1-5.
15. Tibirkov A.P. The influence of polyacrylamide hydrogel on the structural and aggregate composition of the arable layer of the svetlokan soil of the Volga-Don interfluvium / A.P. Tibirkov, V.I. Filin // *Izv. Nizhnevolzh. agrouniver. the complex*. 2013. No. 4. pp. 1-5.
16. De Bell D.S. Growth and physiology of loblolly pine roots under various water table level and phosphorous treatments / D.S. De Bell, D.D. Hookand, W.H. McKee // *J. For. Sci.* 1984. Vol. 30. pp. 705-714.
17. Deren D. Agrogel usage in cultivation of trees planted in ridges / D. Deren, A. Szewczuk, E. Gudarowska // *J. Fruit Ornamental Plant Res.* 2010. Vol. 18, № 2. Pp. 520-529.
18. Kuzin E.N. Influence of polymer reclamation and fertilizers on the structural state of leached chernozem and yield / E.N. Kuzin, A.N. Arefyev // *Agriculture*. 2013. No. 2. pp. 12-14.
19. Shilov A. The influence of a fertilizer system and a strongly swelling polymer hydrogel on wheat productivity / A. Shilov, A. Plotnikov, V. Tarabaev // *Chief agronomist*. 2013. No. 2. - pp. 15-17.
20. Vdovina T.A. Introduction of moisture-holding polymer «Aquasorb» during landing wood-shrubby and fruit plants in the arid conditions of Kazakhstan / T.A. Vdovina, A.A. Vinokurov, O.A. Lagus, E.A. Isakova // *Bulletin of the Karaganda University. Series Biology. Medicine. Geography*. 2018. No. 4(92). Pp. 33-37.

3.18 КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ВЫДЕЛЕНИЮ И КАРТОГРАФИРОВАНИЮ ЗОН ПОДТОПЛЕНИЯ В ПРИБРЕЖНЫХ ЗОНАХ ВОДОХРАНИЛИЩ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС, ПЕДОТРАНСФЕРНЫХ ФУНКЦИЙ И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Создание крупных водохранилищ гидроэлектростанций существенно трансформирует водный режим прилегающих территорий, вызывая подъём уровня грунтовых вод, изменение частоты и продолжительности паводков и паводков, перераспределение водных запасов в почвенно-грунтовой толще. Одним из наиболее существенных последствий этих изменений является формирование зон подтопления и развитие процессов вторичного засоления почв прибрежных территорий, что приводит к деградации агроландшафтов, снижению плодородия и ограничению использования земель [8, 9].

Классические исследования по физике почв и мелиорации заложили фундаментальные представления о роли гранулометрического состава, структуры порового пространства и водно-физических свойств почв в формировании водного режима и устойчивости к переувлажнению и засолению [8, 9]. Современные работы развивают эти представления в направлении количественного описания водного режима на основе уравнения Ричардса, параметрических моделей водоудержания и гидравлической проводимости, а также численного моделирования водно-солевого режима [2, 5, 6].

В последние десятилетия широкое развитие получили геоинформационные технологии и методы дистанционного зондирования, позволяющие на основе цифровых моделей рельефа и спутниковых наблюдений (Landsat, Sentinel, радарные съёмки, GRACE-FO) выделять потенциальные зоны затопления, анализировать динамику уровней грунтовых и почвенных вод и картографировать последствия паводков [1, 3, 4]. Вместе с тем для конкретных водохранилищ, включая Куйбышевское, сохраняется дефицит методик, интегрирующих:

- литолого-гидрогеологическое строение и гранулометрический состав почв;
- гидрофизические параметры, определяющие фильтрацию и капиллярный подъём;
- гидрологический режим водохранилища и паводков;
- данные дистанционного зондирования и наблюдений за уровнем грунтовых вод.

Теоретическое осмысление возможностей сочетания указанных компонент в единой методической схеме является необходимым условием разработки надёжных подходов к оценке и картографированию зон подтопления.

Цель работы – на основе теоретического анализа литературных источников обобщить и систематизировать подходы к выделению и оценке зон подтопления в прибрежных районах водохранилищ, показать роль педотрансферных функций и ГИС-технологий в их параметризации и картографировании, а также обосновать место данных дистанционного зондирования в теоретической схеме валидации и уточнения результатов моделирования.

Теоретические предпосылки формирования зон подтопления. Формирование зон подтопления и сопутствующего вторичного засоления обусловлено совокупностью природных и антропогенных факторов: рельефом и морфометрией водосборов, литолого-гидрогеологическими условиями, гранулометрическим составом и структурой почв, режимом осадков и половодий, характером регулирования стока водохранилищами и землепользованием [2, 8, 9]. С теоретической точки зрения ключевым является взаимодействие поверхностных и подземных водных потоков, определяющее положение уровня грунтовых вод и мощность зоны аэрации.

С агрофизических и мелиоративных позиций важнейшими характеристиками, определяющими реакцию почв на подтопление, являются:

- кривая водоудержания $\theta(h)$, отражающая связь между влажностью и матрическим потенциалом;
- параметры порового пространства, определяющие высоту капиллярного подъёма;
- различные виды влагоёмкости (полевая, полная, влажность завядания) и запас воды в профиле;
- насыщенная и ненасыщенная гидравлическая проводимость [2, 5, 6].

Особое значение эти характеристики приобретают на орошаемых и осушаемых землях, где водно-солевой режим существенно модифицируется под влиянием мелиоративных мероприятий [8, 9]. В зоне влияния водохранилища подпор грунтовых вод и повышение их уровня сокращают мощность зоны аэрации; при тяжёлом гранулометрическом составе и слабом естественном дренаже это теоретически предопределяет устойчивое подтопление корнеобитаемого слоя. При наличии соленосных горизонтов и минерализованных грунтовых вод формируются условия для вторичного засоления [8–10].

Теоретические аспекты диагностики и картографирования засоленных почв, включая разработку критериев оценки степени засоленности и методик крупномасштабного цифрового картографирования, детально рассмотрены в работах по засоленным почвам России и современных исследованиях по цифровому картографированию [9, 10]. Эти результаты служат базой для построения обобщённой методической схемы оценки зон подтопления и засоления.

Модели и методы оценки зон подтопления: теоретический обзор. Существующие подходы к оценке и картографированию зон подтопления можно условно разделить на несколько групп. Теоретический анализ этих групп позволяет выявить их возможности и ограничения.

Расчётно-гидрологические и гидравлические модели. В основе расчётно-гидрологических и гидравлических моделей лежат уравнения неустановившегося речного стока, используемые для моделирования распространения паводковых волн и построения карт затопления пойм. В прибрежных зонах водохранилищ такие модели применяются для оценки затопления при экстремальных уровнях воды, однако слабо учитывают фильтрационное взаимодействие с грунтовыми водами и свойства почвенного профиля [4, 7]. Теоретически они описывают поведение водной поверхности, но не водно-почвенную систему в целом.

Гидрогеологические и водно-физические модели опираются на уравнение Дарси–Ричардса и сопряжённые уравнения переноса солей для описания движения воды в ненасыщенной и насыщенной зонах. Такие модели (HYDRUS, MODFLOW с модулями зоны аэрации и др.) позволяют теоретически описать:

- динамику уровня грунтовых вод под влиянием подпора и осадков;
- глубину зоны аэрации и высоту капиллярного подъёма;
- распределение солей по профилю и риск вторичного засоления [2, 5, 6].

Главное теоретическое ограничение заключается в необходимости задания параметров $\theta(h)$ и $K(\theta)$ для пространственно неоднородной толщи, что при отсутствии прямых измерений требует дополнительных методов параметризации.

Геоинформационные и дистанционные методы основаны на использовании цифровых моделей рельефа, спутниковых снимков, радарных наблюдений и геостатистической интерполяции для выделения низменных участков, потенциальных зон затопления, построения карт уровня грунтовых вод и засоления по разрежённым наблюдениям и мониторинга

затопления по данным оптических и радиолокационных систем [1, 3]. С теоретической точки зрения эти методы обеспечивают высокую пространственную разрешающую способность, но сами по себе носят описательный характер и нуждаются в физически обоснованной интерпретации [3, 4].

Интегральные модели риска подтопления и засоления опираются на многокритериальный анализ, предполагающий комбинирование факторов (глубина грунтовых вод, гранулометрический состав, уклоны, минерализация, дистанционные индексы влажности и т.п.) с использованием ГИС-инструментов для построения карт риска подтопления и засоления. Эти модели гибки и удобны для практического применения, однако теоретически зависят от выбора весов и критериев и требуют калибровки на основе более строгих физических моделей [3, 4].

Обобщая, можно констатировать, что теоретически обоснованная оценка зон подтопления требует интеграции физических моделей водного режима, педотрансферной параметризации почв, гидрогеологических наблюдений и данных дистанционного зондирования в единой геоинформационной среде.

Теоретическая роль педотрансферных функций в оценке зон подтопления. Одним из основных препятствий реализации физически обоснованных моделей водного режима на больших территориях является дефицит прямых измерений гидрофизических свойств почв. Педотрансферные функции (ПТФ) выступают в этом контексте как теоретический инструмент перехода от доступных почвенно-картографических и мониторинговых данных к параметрам моделей водного режима.

ПТФ позволяют по гранулометрическому составу, плотности сложения и содержанию органического вещества оценивать:

- параметры кривой водоудержания в модели ван Генухтена ($\theta_s, \theta_r, \alpha, n, m$);
- насыщенную гидравлическую проводимость K_s и функцию $K(\theta)$;
- пористость, полевую и полную влагоёмкость, влажность завядания [2, 5, 6].

Типовая теоретическая схема применения ПТФ для целей выделения зон подтопления включает:

- оцифровку и приведение к единому формату почвенных карт и данных мониторинга плодородия;

- выбор и адаптацию системы ПТФ, учитывающей типы почв и условия исследуемой территории;
- расчёт параметров $\theta(h)$ и K_s для каждого почвенного контура и горизонта;
- формирование в ГИС пространственно распределённых слоёв гидрофизических свойств;
- использование этих слоёв в качестве входа для моделей водного режима и последующего анализа зон подтопления.

Подобные подходы к оценке засоленности и цифровому картографированию засолённых почв описаны в фундаментальных работах по засолённым почвам России и современных исследованиях по крупномасштабному цифровому картографированию [9,10]. В теоретическом плане ПТФ выступают связующим звеном между традиционным почвенным картографированием и численным моделированием водно-солевого режима.

Интеграция ГИС и дистанционного зондирования в теоретической схеме выделения зон подтопления

Цифровые модели рельефа и морфометрический анализ. Цифровая модель рельефа (ЦМР) в теоретической схеме служит базовым слоем, обеспечивающим:

- выделение понижений, пойменных террас, уступов;
- расчёт уклонов, кривизны, направлений стока;
- делимитацию водосборов и локальных депрессий, где возможен застой воды [1, 3].

Совмещение ЦМР с картами уровней грунтовых вод и почвенных свойств позволяет на теоретическом уровне прогнозировать участки, где при заданном уровне грунтовых вод возможен выход зеркала в корнеобитаемый слой и формирование устойчивого подтопления.

Дистанционное зондирование для теоретико-методической диагностики подтопления. Оптические и радиолокационные данные (Landsat, Sentinel и др.) используются для:

- обнаружения и картографирования фактических зон затопления во время и после паводков;
- расчёта индексов влажности и водности (NDWI, MNDWI и др.), а также вегетационных индексов (NDVI), чувствительных к переувлажнению и заболачиванию;
- анализа многолетней динамики затопления и увлажнения в связи с режимом водохранилища и климатическими аномалиями [3, 4].

С теоретической точки зрения дистанционные данные выполняют две ключевые функции:

- служат независимым источником информации для калибровки и валидации физически обоснованных моделей зон подтопления;
- позволяют уточнять границы подтопляемых территорий и выявлять участки, где расчётные и наблюдаемые характеристики существенно расходятся, указывая на необходимость пересмотра исходных допущений или параметров моделей [3, 4].

Теоретическая схема комплексной оценки зон подтопления прибрежной зоны водохранилища. На основе проведённого теоретического анализа предлагается обобщённая методическая схема комплексной оценки зон подтопления, включающая следующие этапы.

Сбор и концептуализация исходных данных. В теоретической постановке предполагается использование следующих информационных блоков:

- почвенные карты и данные мониторинга плодородия (гранулометрический состав, плотность сложения, органическое вещество);
- литолого-гидрогеологическая информация (стратиграфия, водоупоры, минерализация грунтовых вод);
- гидрологические ряды уровней водохранилища и паводков;
- наблюдения за уровнем грунтовых вод;
- ЦМР и морфометрические показатели рельефа;
- оптические и радарные спутниковые данные [1, 3, 4, 8–10].

Параметризация почвенно-грунтовой толщи с помощью ПТФ

На этом этапе теоретически обосновывается выбор системы педотрансферных функций, адаптированной к типу почв и условиям территории, и выполняется расчёт $\theta(h)$, K_s и влагоёмкостей по данным о гранулометрическом составе и органическом веществе [2, 5, 6, 9, 10]. Результатом является формирование в ГИС слоёв гидрофизических параметров, пригодных для последующего моделирования.

Моделирование водного режима. С использованием параметров, полученных на предыдущем этапе, теоретически формулируется задача численного решения уравнения Дарси–Ричардса (при необходимости – в связке с гидрогеологической моделью) для типичных сценариев (различные уровни водохранилища, экстремальные паводки, климатические варианты). Рассчитываются глубина зоны аэрации, высота капиллярного подъёма, время сохранения насыщения в корнеобитаемом слое, критические глубины уровня

грунтовых вод для сельскохозяйственных угодий и застроенных территорий [2, 5, 6].

ГИС-картографирование и теоретическое ранжирование зон подтопления. На основе результатов моделирования в ГИС-среде выполняется классификация территорий по степени риска подтопления (сильное, умеренное, слабое) с учётом моделируемой глубины до грунтовых вод, гранулометрического состава и длительности переувлажнения. Дистанционные наблюдения фактических затоплений используются для теоретического обоснования процедур калибровки и уточнения границ зон [1, 3, 4, 9, 10].

Валидация и корректировка теоретической схемы. Заключительный этап предусматривает теоретическое описание процедур сопоставления расчётных карт подтопления с фактическими контурами, выявленными по спутниковым данным, и с наблюдениями за уровнем грунтовых вод, а также корректировку педотрансферных параметров и гидрогеологических допущений на основе выявленных расхождений.

Выводы. Теоретический анализ существующих подходов к оценке зон подтопления в прибрежных зонах водохранилищ показал, что традиционные расчётно-гидрологические методы, основанные преимущественно на морфометрии рельефа и уровнях воды, не обеспечивают достаточной полноты описания водно-почвенной системы, поскольку не учитывают в должной мере гидрофизические свойства почв и фильтрационное взаимодействие с грунтовыми водами.

Педотрансферные функции рассматриваются как ключевой теоретический инструмент перехода от почвенных и картографических данных к параметрам физических моделей водного режима, позволяющий строить пространственно распределённые поля гидрофизических свойств, необходимых для количественного описания процессов подтопления и вторичного засоления.

Интеграция ПТФ, математического моделирования, ГИС-технологий и дистанционного зондирования образует теоретическую основу комплексного подхода к оценке и картографированию зон подтопления. Предложенная схема позволяет логически увязать различные группы моделей и данных в единую методическую систему и служит базой для последующей разработки и апробации прикладных алгоритмов и программных решений.

Теоретические перспективы дальнейших исследований связаны с уточнением региональных педотрансферных зависимостей для прибрежных зон водохранилищ, развитием методов слияния данных ГИС

и дистанционного зондирования с результатами моделирования, а также с внедрением методов машинного и глубокого обучения для автоматизированного выявления признаков подтопления и засоления по многоспектральным и радиолокационным данным.

Список использованных источников

1. Burrough P.A., McDonnell R.A. Principles of Geographical Information Systems. – Oxford: Oxford University Press, 1998.
2. Hillel D. Applications of Soil Physics. – New York: Academic Press, 1980.
3. Lopez P.L. et al. Remote sensing for flood mapping and monitoring: A review // Remote Sensing. 2020. Vol. 12.
4. Merz B., Kreibich H., Schwarze R., Thieken A. Assessment of economic flood damage // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2010. Vol. 10. P. 1697–1724.
5. van Genuchten M.Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils // Soil Science Society of America Journal. 1980. Vol. 44. P. 892–898.
6. Šimůnek J., Šejna M., van Genuchten M.Th. The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably Saturated Media. – Riverside: U.S. Salinity Laboratory, ARS, USDA, 1998.
7. Гиргидов А.Д. Техническая механика жидкости и газа. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. – 394 с.
8. Зайдельман Ф.Р. Методы эколого-мелиоративных изысканий и исследований почв. – М.: Колос, 2008. – 485 с.
9. Засоленные почвы России / Е.И. Панкова и др.; отв. ред. Л.Л. Шишов, Е.И. Панкова. – М.: Академкнига, 2006. – 853 с.
10. Панкова Е.И., Конюшкова М.В., Горохова И.Н. О проблеме оценки засоленности почв и методике крупномасштабного цифрового картографирования засоленных почв // Экосистемы: экология и динамика. 2017. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-probleme-otsenki-zasolennosti-pochv-i-metodike-krupnomasshtabnogo-tsifrovogo-kartografirovaniya-zasolennyh-pochv> (дата обращения: 03.03.2026).

References

1. Burrough P.A., McDonnell R.A. Principles of Geographical Information Systems. – Oxford: Oxford University Press, 1998.
2. Hillel D. Applications of Soil Physics. – New York: Academic Press, 1980.
3. Lopez P.L. et al. Remote sensing for flood mapping and monitoring: A review // Remote Sensing. 2020. Vol. 12.
4. Merz B., Kreibich H., Schwarze R., Thieken A. Assessment of economic flood damage // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2010. Vol. 10. P. 1697–1724.
5. van Genuchten M.Th. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils // Soil Science Society of America Journal. 1980. Vol. 44. P. 892–898.
6. Šimůnek J., Šejna M., van Genuchten M.Th. The HYDRUS 1D Software Package for Simulating the Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably Saturated Media. – Riverside: U.S. Salinity Laboratory, ARS, USDA, 1998.

7. Girgidov A.D. Technical mechanics of liquid and gas. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg State Technical University, 1999. - 394 p.
8. Seidelman F.R. Methods of ecological land reclamation surveys and soil research. Moscow: Kolos, 2008. - 485 p.
9. Saline soils of Russia / E.I. Pankova et al.; edited by L.L. Shishov, E.I. Pankova. – M.: Akademkniga, 2006. – 853 p.
10. Pankova E.I., Konyushkova M.V., Gorokhova I.N. On the problem of assessing soil salinity and the methodology of large-scale digital mapping of saline soils // Ecosystems: ecology and dynamics. 2017. No. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-probleme-otsenki-zasolennosti-pochv-i-metodike-krupnomasshtabnogo-tsifrovogo-kartografirovaniya-zasolennyh-pochv> (date of request: 03.03.2026).

3.19 СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАЗЕМНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ПРОДУКТОВ РЕАНАЛИЗА ERA-5 ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕСУРСОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД КАЛМЫКИИ

Республика Калмыкия является одним из самых засушливых регионов Европейской территории России с незначительными запасами поверхностных водных ресурсов местного формирования. Недостаток пресных поверхностных вод в сочетании с повышенной минерализацией подземных вод существенно ограничивает перспективы развития субъекта Российской Федерации. Поверхностный сток на малых водотоках возникает сезонно в зимне-весенний период, поэтому учет характеристик половодья особенно важен для оценки ресурсов поверхностных вод территории и обоснования перспективных управленческих решений по проблемам качественного и количественного дефицита вод.

Первостепенной целью работы являлась оценка связи поверхностного стока рек региона с объемной влажностью почвы ($\text{м}^3/\text{м}^3$, %) и величиной влагозапаса в снежном покрове. Под величиной влагозапаса подразумевается слой талой воды, равномерно распределенной по площади расчетной ячейки сетки базы данных ERA-5. Далее в работе использованы обозначения, принятые в терминологии репозитория ERA-5 и ERA-5 Land.

Основная задача заключается в выделении определяющих факторов формирования слоя и объема половодья, позволяющих определить формирующиеся сезонные водные ресурсы в условиях отсутствия режимной сети гидрологический наблюдений. Подобные работы по переоценке определяющих факторов проводились на территориально близких речных бассейнах [1], но для рек Калмыкии схожие исследования выполнялись ограниченно, в том числе из-за отсутствия наблюдений.

Основная часть речного стока территории приходится на весеннее половодье, продолжительность которого в зависимости от местоположения и величины водосбора варьирует от 10 до 50 дней. На долю весеннего половодья обычно приходится около 70...90% годового стока, а на малых водотоках до 100%, определяющим является снеговое питание.

На водосборах временных водотоков, составляющих подавляющую часть местной гидросети, снег может полностью исчезать до начала половодья, не формируя руслового стока. Круглогодичный сток по факту наблюдается исключительно на реках, питание которых дополняется родниковыми водами: Амта-Бургуста, Соленая, Яшкуль, Элистинка и др.

Процесс формирования весеннего стока неоднороден даже в смежные годы. На объем стока весеннего половодья оказывают влияние как зональные (характеристики промерзания почв, высота и распределение снежного покрова и пр.), так и азональные факторы (геологическое строение отдельных водосборов, степень антропогенных изменений в их пределах и т.д.). Слабая гидрологическая изученность территории в сочетании с отсутствием оперативной информации ограничивают применимость метода гидрологической аналогии для неизученных рек. Обычно расчетные модели по комплексу гидрометеорологических факторов калибруются по натурным данным гидрологических постов, с применением понижающих коэффициентов при переходе от зонального стока к азональному для малых водосборов. Однако количество постов-аналогов применительно к водотокам Республики Калмыкия ограничено реально существующей наблюдательной сетью. На территории Республики Калмыкии и в бессточной зоне Прикаспия имеется только один действующий гидрологический пост балка Амта-Бургуста – пос. Кетченеры (бывший пгт Советский), находящийся на восточном склоне Ергенинской возвышенности. Второй пост находится на р. Аксай Есауловский в х. Воднянский (Волгоградская обл.) на западном склоне Ергенинской возвышенности и отличается большей водностью и количеством родников. Данная точка находится ближе всего к границам Республики Калмыкия.

Помимо действующего поста наблюдений на территории Калмыкии ранее было более десяти закрытых ныне пунктов наблюдений. Их период наблюдений охватывал несколько лет во второй половине XX века, относящихся к многоводному периоду. Периодизация фаз подтверждается рядом авторов [4]. Использование коротких рядов наблюдений на закрытых гидрологических постах без учета фаз водности приводит к завышению расчетных величин годового и половодного стока, что может привести

к некорректным управленческим решениям в перспективном планировании развития территории.

Использование осредненных значений стоковых характеристик по двум действующим постам-аналогам оказалось мало приемлемым из-за несовпадения хронологических колебаний речного стока на постах как в многолетнем разрезе, так и за смежные годы. Выполненный критический анализ показал, что приемлемая связь за период параллельных наблюдений между постами отсутствует как по годовому стоку, так и по весеннему стоку, особо значимому в рамках проблемы водоснабжения Республики Калмыкия.

По этой причине в настоящей работе рассмотрена возможность установления гидрологических характеристик не только через данные постов-аналогов, но и с учетом определяющих метеорологических данных, полученных в ходе многолетних наблюдений на гидрометеорологической сети, а также с помощью сведений многоканальных матричных данных дистанционного зондирования Земли. В качестве последних использовались имеющиеся в свободном доступе сведения с репозиториях ERA-5 и ERA-5 Land за период с января 1979 по февраль 2026 [7].

Анализом охватывались водосборы р. Амта-Бургуста (река-аналог) и р. Яшкуль (основной питьевой водозабор г. Элиста). Использовались действующие пункты гидрометеорологических наблюдений. Информация о участвующих в расчетах предикторах указана в таблице 3.19. Гидрометеорологические характеристики района исследования рассматривались в трех разрезах: суточном (D), месячном (M) и годовом (Y).

Таблица 3.19 – Описание предикторов, участвующих в расчетах

Нумерация	Наименование характеристики	Ед. изм.	Гидрологический пост/Метеостанция	Кол-во смежных наблюдений
Среднесуточные характеристики				
D1 _M	Среднесуточная температура воздуха	°C	г. Элиста	998
D2 _M	Среднесуточная сумма осадков	мм	г. Элиста	998
D3 _H	Среднесуточные расходы воды	м³/с	р. Аксай Есауловский - х. Водянский	1826
Среднемесячные характеристики				
M1 _M	Месячные суммы осадков	мм	г. Элиста	564
M2 _M	Месячные суммы осадков	мм	с. Ремонтное	564

Нумерация	Наименование характеристики	Ед. изм.	Гидрологический пост/Метеостанция	Кол-во смежных наблюдений
M3 _М	Месячные суммы осадков	мм	с. Кетченеры	170
M4 _М	Среднемесячные температуры	°С	г. Элиста	564
M5 _М	Среднемесячные температуры	°С	с. Кетченеры	171
M6 _М	Средние температуры в теплый период	°С	г. Элиста	47
M7 _М	Среднемесячная высота снежного покрова	см	с. Ремонтное	119
M8 _Н	Среднемесячные расходы воды	м³/с	б. Амста-Бургуста - пос. Кетченеры	437
M9 _Н	Среднемесячные расходы воды	м³/с	р. Аксай Есауловский - х. Водянский	529
M10 _Н	Средние расходы воды за весенний период	м³/с	б. Амста-Бургуста - пос. Кетченеры	37
Среднегодовые характеристики				
Y1 _М	Среднегодовая температура воздуха	°С	г. Элиста	47
Y2 _М	Среднегодовая температура воздуха	°С	с. Ремонтное	47
Y3 _М	Годовые суммы осадков	мм	г. Элиста	47
Y4 _М	Годовые суммы осадков	мм	с. Ремонтное	47
Y5 _Н	Среднегодовые расходы воды	м³/с	б. Амста-Бургуста - пос. Кетченеры	33
Y6 _Н	Среднегодовые расходы воды	м³/с	р. Аксай Есауловский - х. Водянский	35
Y7 _Н	Среднегодовые расходы воды	м³/с	р.Калаус - с.Воздвиженское	15
Y8 _Н	Слой стока за весеннее половодье	мм	р. Аксай Есауловский - х. Водянский	34
Y9 _Н	Слой стока за весеннее половодье	мм	р. Егорлык – с. Новый Егорлык	32
Y10 _Н	Продолжительность весеннего половодья за отдельный год	день	р. Аксай Есауловский - х. Водянский	31
Y11 _Н	Максимальный (срочный) расход воды в период весеннего половодья за отдельный год	м³/с	р. Аксай Есауловский - х. Водянский	37
Y12 _М	Сумма суточных положительных температур за январь-февраль за отдельный год	°С	г. Элиста	46

В таблице 3.20 представлены максимальные коэффициенты корреляций (R) различных предикторов с объемной влажностью почвы (Volumetric Soil Water) и значениями влагозапаса (Snow Water Equivalent) на территории района исследований.

Таблица 3.20 – Коэффициенты корреляций (R) различных предикторов с объемной влажностью почвы (Volumetric Soil Water) и значениями влагозапаса (Snow Water Equivalent)

Предиктор	VSW	SWE
D1 _м	0,85	0,72
D2 _м	0,17	0,1
D3 _н	0,08	0,03
M1 _м	0,27	0,09
M2 _м	0,23	0,03
M3 _м	0,32	0,11
M4 _м	0,87	0,62
M5 _м	0,88	0,7
M6 _м	0,8	–
M7 _м	0,66	0,79
M8 _н	0,55	0,22
M9 _н	0,56	0,37
M10 _н	0,19	0,07
Y1 _м	0,67	0,7
Y2 _м	0,66	0,59
Y3 _м	0,49	0,19
Y4 _м	0,53	0,14
Y5 _н	0,32	0,65
Y6 _н	0,35	0,7
Y7 _н	0,25	0,6
Y8 _н	0,35	0,39
Y9 _н	0,31	0,53
Y10 _н	0,64	0,64
Y11 _н	0,71	0,71
Y12 _м	0,36	0,36

Цветовым форматированием выделены три группы, ранжированные по величине значения коэффициента парной корреляции (R) согласно значениям $R_{крит}$ [5, 6]: тесная связь ($R > 0,70$), средняя связь ($0,50 < R < 0,69$); слабая и очень слабая связь ($R < 0,49$).

Выводы. Статистический анализ показал, что данные ДЗЗ по снегозапасу и объемной влажности почвы слабо коррелируют с годовыми, месячными, суточными суммами осадков. Применение поправок на время руслового и склонового добеганий, асинхронность наблюдений и т.п. посредством смещений смежных значений при поиске зависимостей связь не усилили.

При этом установлено, что ряды объемной влажности почвы имеют тесную корреляционную связь с температурой воздуха. Особенно тесная связь в регрессионном уравнении со среднемесячными значениями температуры воздуха. Соответственно значения VSW можно использовать для восстановления рядов соответствующих показателей для слабо изученных территорий как одного из предикторов множественной регрессии.

В ряде исследований увязаны температурные данные со стоковыми. В работах [2, 3] приведен результат статистического анализа связи величины доли оттепелей в среднемесячном стоке в январе-феврале с суммой положительных температур за эти месяцы для бассейна р. Волги (Y12_м)

($R > 0,90$). Полученная связь для Республики Калмыкия значительно уступает в прочности ($R = 0,36$), что вероятнее обусловлено малыми водосборами и усиленными азональными факторами.

Ряды SWE имеют сильную связь с данными о высоте снежного покрова ($R \geq 0,79$), что может быть использовано для регрессионного восстановления данных в районах с отсутствующей или недостаточной снегомерной съемками

Наилучшие связи с гидрологическими характеристиками имеют ряды SWE. Особенно важной в рамках проблемы водоснабжения региона являются годовые связи, имеющие отношение к стоку за период половодья. Значения SWE могут быть второстепенным предиктором при использовании метода гидрологической аналогии по постам-аналогам, а при их отсутствии – одним из основных метеорологических показателей, наравне с суммами осадков, глубинами промерзания и прочими при построении многофакторных моделей формирования поверхностного стока. Это направление является перспективным в связи с развитием численных методов и накоплением доступной базы данных ДЗЗ, а также применения на территориях с более густой сетью режимного наблюдения за стоком.

Список использованных источников

1. Варенцова, Н.А. Формирование весеннего стока рек ЕТР: основные факторы и способы их учета. II. Переоценка с учетом современных условий на примере рек бассейна Дона / Н.А. Варенцова, М.Б. Киреева, М.А. Харламов [и др.] // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2022. – № 2 (384). – С. 117-146. – DOI: 10.37162/2618-9631-2022-2-117-146.
2. Лавров, С.А. Физические процессы и закономерности формирования зимнего и весеннего стока рек бассейна Волги в условиях изменения климата / С.А. Лавров, И.Л. Калюжный // Водное хозяйство России. – 2012. – № 4.
3. Лавров, С.А. Влияние климатических изменений на сток весеннего половодья и факторы его формирования в бассейне Волги / С.А. Лавров, И.Л. Калюжный // Водное хозяйство России. – 2016. – № 6.
4. Пахомова, О.М. Гидрологический режим водотоков и проблемы водоснабжения населения в Республике Калмыкия / О.М. Пахомова, В.Ю. Григорьев, А.А. Сазонов [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2024. – № 1.
5. СП 529.1325800.2023 «Определение основных расчётных гидрологических характеристик» — свод правил, утверждённый приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 11 сентября 2023 года №654/пр.
6. Статистические методы в гидрологии: [сборник статей] / под редакцией А.В. Рождественского, Н.П. Артемьевой. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1983.

7. ERA5. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). – URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets> (дата обращения: 20.02.2026).

References

1. Varentsova, N.A. Formation of the Spring Runoff of the Rivers of the European Part of Russia: Main Factors and Methods of Their Accounting. II. Reassessment Taking into Account Modern Conditions on the Example of the Rivers of the Don Basin / N.A. Varentsova, M.B. Kireeva, M.A. Kharlamov [et al.] // Hydrometeorological Research and Forecasts. – 2022. – No. 2 (384). – Pp. 117-146. – DOI: 10.37162/2618-9631-2022-2-117-146.
2. Lavrov, S.A. Physical processes and patterns of formation of winter and spring runoff of the Volga basin rivers in the context of climate change / S.A. Lavrov, I.L. Kalyuzhny // Water Economy of Russia. – 2012. – No. 4.
3. Lavrov, S.A. The Influence of Climate Change on the Flow of Spring Floods and the Factors of Its Formation in the Volga Basin / S.A. Lavrov, I.L. Kalyuzhny // Water Management in Russia. – 2016. – No. 6.
4. Pakhomova, O.M. Hydrological Regime of Watercourses and Problems of Water Supply for the Population in the Republic of Kalmykia / O.M. Pakhomova, V.Yu. Grigoriev, A.A. Sazonov [et al.] // Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography. – 2024. – No. 1.
5. SP 529.1325800.2023 "Determination of the Main Design Hydrological Characteristics" is a set of rules approved by Order No. 654/pr of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated September 11, 2023.
6. Statistical Methods in Hydrology: [Collection of Articles] / Edited by A.V. Rozhdestvensky and N.P. Artemyeva. - Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983.
7. ERA5. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). – URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets> (accessed on 20.02.2026).

3.20 РЕШЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ ГИС-МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОДОСБОРА РЕКИ КАЗАНКА

Для малых и средних рек пространственная неоднородность водосбора существенно влияет на формирование стока, русловые процессы и условия поступления загрязняющих веществ [3–7]. В этих условиях ГИС-технологии позволяют совместно анализировать рельеф, гидрографию, землепользование и состояние подстилающей поверхности.

Река Казанка является левым притоком Волги, протекает по территории Арского и Высокогорского районов Республики Татарстан. Длина реки составляет 126 км, площадь бассейна – около 2002 км² [3,4]. Бассейн отличается значительной сельскохозяйственной освоенностью, выраженной овражно-балочной сетью и заметной антропогенной трансформацией отдельных участков [1, 2, 5]. Это определяет актуальность пространственного анализа водосбора для решения гидрологических и геоэкологических задач.

Цель работы – показать возможности ГИС-моделирования при анализе водосбора реки Казанка и решении задач, связанных с поверхностным стоком, эрозионными процессами и геоэкологическим риском.

Объектом исследования является водосбор реки Казанка, расположенный в пределах Республики Татарстан. При анализе учитывались физико-географические особенности бассейна, гидрографическое строение, морфометрические характеристики притоков, структура землепользования и особенности подстилающей поверхности [1–5].

В качестве исходных материалов использовались:

- схемы территориального планирования Арского и Высокогорского муниципальных районов [1, 2];
- гидрографический справочник по водным объектам Республики Татарстан [3];
- цифровая модель рельефа, материалы дистанционного зондирования и тематические ГИС-слои, характеризующие подстилающую поверхность бассейна.

Геоинформационная обработка включала несколько последовательных этапов. На первом этапе выполнялось формирование пространственной основы исследования: уточнение границ водосбора, гидрографической сети и основных морфометрических элементов. На втором этапе проводилось выделение подбассейнов и более мелких расчетных единиц – микроводосборов. На третьем этапе определялись площади, уклоны, длины водотоков, структура подстилающих поверхностей и доли основных категорий землепользования. На четвертом этапе подготовленные ГИС-данные использовались для гидрологической схематизации бассейна и задания параметров расчетной модели поверхностного стока [9, 10].

Для целей пространственного анализа весь водосбор был подразделен на 11 частных бассейнов, объединенных в четыре крупных участка по основному руслу Казанки, а также по водосборам крупных притоков. Кроме того, при более детальной схематизации территории было выделено 216 микроводосборов, что позволило перейти от общего бассейнового анализа к более локальной оценке условий формирования стока и оценки геоэкологических рисков.

Методический подход основывался на представлении водосбора как пространственно неоднородной системы, в пределах которой гидрологические процессы определяются сочетанием рельефа, характера землепользования и состояния гидрографической сети [5–7].

ГИС-моделирование позволило представить бассейн реки Казанка как систему взаимосвязанных подбассейнов и микроводосборов. Такая схема важна не только с точки зрения пространственного описания водосбора, но и как основа для последующих расчетов. Выделение подбассейнов дало возможность уточнить строение гидрографической сети и проследить, как постоянные и временные водотоки участвуют в перераспределении поверхностного стока в пределах бассейна (рис. 3.24).

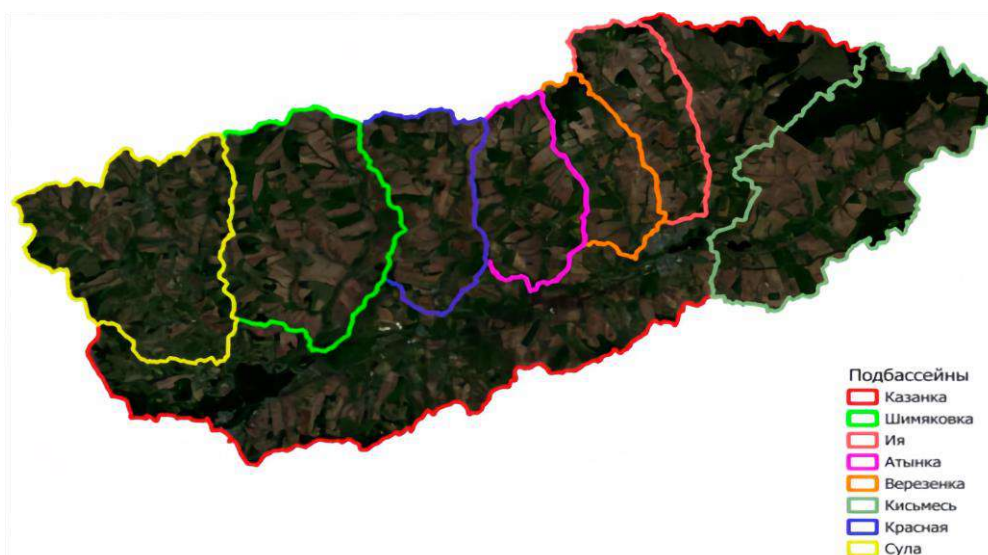


Рисунок 3.24 - Границы подбассейнов водосбора реки Казанка

По данным гидрографического и геоморфологического анализа, в пределах бассейна реки Казанка существенную роль играют не только основные притоки, но и овражно-балочные формы рельефа, которые в периоды снеготаяния и ливневых осадков включаются в процесс переноса воды и наносов [3–5]. Именно поэтому при анализе водосбора недостаточно учитывать только постоянные русла. Пространственная схема должна отражать также временные элементы стока, так как они во многом определяют распределение эрозионных и аккумулятивных процессов.

Отдельное значение в работе имела оценка подстилающей поверхности. Полученные результаты показали, что в бассейне Казанки преобладают сельскохозяйственные территории, тогда как лесные, урбанизированные и водные площади занимают значительно меньшую долю. Это соотношение определяет специфику формирования поверхностного стока и во многом объясняет повышенную значимость эрозионных процессов, заиления русел и диффузного поступления загрязняющих веществ в речную сеть (табл. 3.21).

Таблица 3.21 - Структура подстилающей поверхности бассейна реки Казанка

Категория подстилающей поверхности	Площадь, км ²	Доля, %
Поля, луга, сельскохозяйственные территории	1664,54	83,1
Естественные леса	223,91	11,2
Смешанные и редкие леса	51,14	2,6
Урбанизированные территории	58,38	2,9
Постоянные водоемы	4,30	0,2

Преобладание сельскохозяйственных угодий указывает на высокую роль склонового стока в пределах водосбора. На распаханых и слабо защищенных поверхностях процессы смыва почв и выноса взвешенных веществ развиваются интенсивнее, чем на лесных участках. Лесные территории, напротив, выполняют регулирующую функцию, способствуя снижению скорости поверхностного стока и ослаблению эрозии. Урбанизированные участки, несмотря на сравнительно небольшую долю площади, локально увеличивают долю водонепроницаемых поверхностей и тем самым изменяют условия стокообразования.

Более детальная схематизация территории позволила выделить 216 микроводосборов, что существенно повысило возможности анализа. Такой подход особенно важен для бассейнов малых рек, где даже относительно небольшие различия в рельефе, уклонах и конфигурации склонов заметно влияют на распределение стока и наносов. Микроводосборная структура делает возможным использование пространственной информации не только для картографирования, но и для подготовки исходных данных гидрологических моделей (рис. 3.25).

С гидрологической точки зрения ГИС-моделирование бассейна Казанки позволяет решать задачи уточнения морфометрической структуры водосбора, подготовки расчетной схемы для моделирования поверхностного стока, выделения участков вероятного накопления наносов и оценки связи временной эрозионной сети с основным руслом. Важным результатом является возможность задания параметров для модели, включая площади расчетных единиц, уклоны, длины путей стока и характеристики подстилающей поверхности. Это формирует основу для последующих расчетов стока различной обеспеченности и анализа русловых процессов.

Не менее важны и геоэкологические задачи. В бассейне Казанки они связаны прежде всего с диффузным загрязнением, эрозионным смывом и заилением русел [6–8]. Пространственное сопоставление рельефа, структуры угодий и гидрографической сети позволяет установить участки, где

наиболее вероятны смыв почв со склонов, поступление взвешенных веществ в водотоки и формирование зон повышенного геоэкологического риска. Для территории с высокой долей пашни такие задачи особенно актуальны, поскольку именно здесь ГИС-анализ дает возможность перейти от общей оценки состояния бассейна к выделению конкретных участков, требующих природоохранных и противоэрозионных мероприятий.

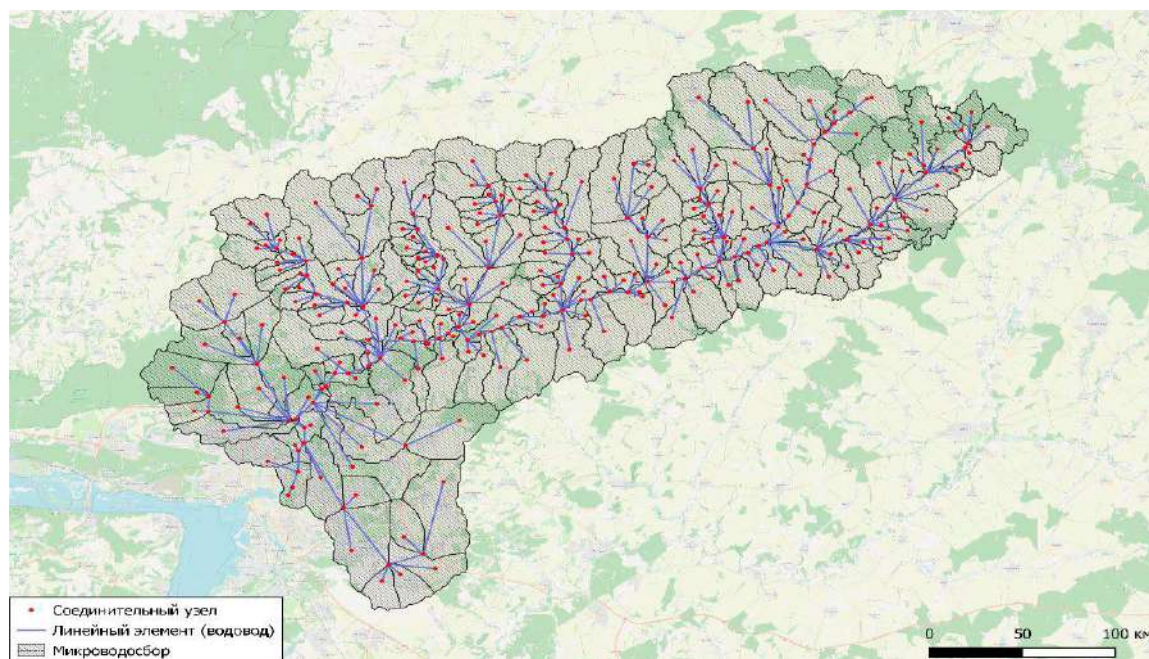


Рисунок 3.25. Схема микроводосборов бассейна реки Казанка

Таким образом, ГИС-моделирование в пределах бассейна реки Казанка выступает как универсальный инструмент, объединяющий пространственный анализ рельефа, гидрографии и землепользования. Его применение позволяет обоснованно решать как гидрологические, так и геоэкологические задачи, а результаты моделирования могут использоваться при подготовке водохозяйственных и природоохранных решений.

Выводы. Проведенный анализ показал, что ГИС-моделирование является эффективным инструментом изучения водосбора реки Казанка. Пространственная детализация бассейна позволяет выделять подбассейны и микроводосборы, учитывать неоднородность рельефа и структуры землепользования, а также готовить исходные данные для гидрологических расчетов. Для бассейна Казанки характерно преобладание сельскохозяйственных территорий, что усиливает значение задач, связанных с поверхностным стоком, эрозией и заилением. Подготовленная пространственная схема может использоваться как основа для

гидрологического моделирования, оценки геоэкологического риска и обоснования водоохранных мероприятий. Полученные результаты подтверждают, что применение ГИС-технологий повышает обоснованность решений, принимаемых для малых рек в условиях интенсивного антропогенного воздействия.

Список использованных источников

1. Схема территориального планирования Арского муниципального района. Часть 2. Обоснование Схемы территориального планирования. Охрана окружающей среды. Текстовые материалы. Том 3. – Казань: ГУП РТ «Татинвестгражданпроект», 2011. – 178 с.
2. Схема территориального планирования Высокогорского муниципального района Республики Татарстан (внесение изменений). Часть 2. Материалы по обоснованию проекта. Охрана окружающей среды. Текстовые материалы. Том 3. – Казань: ГУП РТ «Татинвестгражданпроект», 2016. – 241 с.
3. Водные объекты Республики Татарстан. Гидрографический справочник. 2-е изд., перераб. и доп. – Казань: Фолиант, 2018. – 512 с.
4. Корчева Е.С. Оценка качества воды реки Казанка / Е.С. Корчева, С.В. Степанова, И.Г. Шайхиев // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 20. С. 186-189. EDN: XAMGSZ
5. Горшкова А.Т., Урбанова О.Н., Минуллина А.А. Геоморфологические основы формирования структуры бассейна и водности реки Казанка // Георесурсы. – 2011. – № 2(38). – С. 41–45.
6. Кирейчева Л.В. Оценка диффузного загрязнения от сельскохозяйственных территорий в бассейне Верхней Волги и разработка мероприятий по его снижению на примере реки Яхромы / Кирейчева Л.В., Лентяева Е.А., Тимошкин А.Д., Яшин В.М. // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 5. С. 523-535. EDN: ATENTA
7. Керженцев А.С., Майснер Р., Демидов В.В. и др. Моделирование эрозионных процессов на территории малого водосборного бассейна. – М.: Наука, 2006. – 224 с.
8. Брюханов А.Ю., Кондратьев С.А., Обломкова Н.С., Оглуздин А.С., Субботин И.А. Методика определения биогенной нагрузки сельскохозяйственного производства на водные объекты // ИАЭП. – 2016. – Вып. 89. – С. 175–182.
9. Карпенко Н.П., Кирейчева Л.В., Яшин В.М. Анализ источников диффузного загрязнения в бассейне реки Казанка и разработка превентивных мероприятий // Природообустройство. – 2025. – № 4. – С. 87-94.
10. Карпенко Н.П., Кирейчева Л.В., Кузнецов Ю.С. Разработка нового методического подхода к оценке геоэкологического риска загрязнения речной воды биогенными веществами // Экология и промышленность России. – 2025. – № 9 – С. 60-65.

References

1. Territorial planning scheme of the Arsky municipal district. Part 2. Substantiation of the territorial planning scheme. Environmental protection. Text materials. Vol. 3. – Kazan: GUP RT “Tatinvestgrazhdanproekt”, 2011. – 178 p.

2. Territorial planning scheme of the Vysokogorsky municipal district of the Republic of Tatarstan (amendments). Part 2. Project justification materials. Environmental protection. Text materials. Vol. 3. – Kazan: GUP RT “Tatinvestgrazhdanproekt”, 2016. – 241 p.
3. Water bodies of the Republic of Tatarstan. Hydrographic reference book. 2nd ed., revised and expanded. – Kazan: Foliant, 2018. – 512 p.
4. Korcheva E.S., Stepanova S.V., Shaikhiev I.G. Assessment of the water quality of the Kazanka river // Bulletin of the Technological University. 2016. Vol. 19. No. 20. pp. 186-189. EDN: XAMGSZ
5. Gorshkova A.T., Urbanova O.N., Minullina A.A. Geomorphological basis for the formation of the basin structure and water content of the Kazanka River // Georesources. – 2011. – No. 2(38). – P. 41–45.
6. Kireycheva L.V., Lentyaeva E.A., Timoshkin A.D., Yashin V.M. Assessment of diffuse pollution from agricultural territories in the Upper Volga basin and development of measures to reduce it using the example of the Yakhroma River. 2020. Vol. 47. No. 5. pp. 523-535.
7. Kerzhentsev A.S., Meissner R., Demidov V.V. et al. Modeling of erosion processes within a small catchment basin. – Moscow: Nauka, 2006. – 224 p.
8. Bryukhanov A.Yu., Kondratyev S.A., Oblomkova N.S., Ogluzdin A.S., Subbotin I.A. Method for determining nutrient load from agricultural production on water bodies // IAEP. – 2016. – Issue 89. – P. 175–182.
9. Karpenko N.P., Kireicheva L.V., Yashin V.M. Analysis of sources of diffuse pollution in the Kazanka River basin and development of preventive measures // Environmental management. – 2025. – № 4. – pp. 87-94.
10. Karpenko N.P., Kireicheva L.V., Kuznetsov Yu.S. Development of a new methodological approach to assessing the geoecological risk of river water pollution by biogenic substances // Ecology and industry of Russia. – 2025. – No. 9. – pp. 60-65.

3.21 РАЗВИТИЕ МЕЛИОРАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ АЛТАЙ

Республика Алтай, входящая в состав Сибирского федерального округа, занимает территорию в 92,9 тыс. кв. км и имеет географо-климатический ландшафт, представленный высокими горными цепями, широкими межгорными котловинами, значительными перепадами зимних и летних температур, неравномерностью выпадения осадков: от 150 мм в степных до 1500 мм в горных районах.

Водный потенциал территории весьма значителен – это 12 тысяч горных рек, 7 тысяч природных водоемов, 27 гидротехнических сооружений, что позволяет обеспечивать устойчивое развитие агропромышленного комплекса.

Общая площадь сельскохозяйственных угодий составляет: 1131,7 тыс. га, из них к мелиоративным землям относится – 6,13 тыс. га, из которых в постоянном сельскохозяйственном обороте находится не более 60%.

Согласно статистическим данным на 01.01.2025 года в республике числится: 256,6 тыс. голов крупного рогатого скота, из них – 117,8 тыс. голов коров, свиней – 6,4 тыс. голов, овец и коз – 476,1 тыс. голов, что инициирует необходимость создания многопрофильной кормовой базы, включающей искусственные уголья [3,9]. Наметившаяся тенденция уменьшения численности сельскохозяйственных животных, свидетельствует о системных проблемах, в частности, недофинансированием отрасли, отсталостью материально-технической базы, неразвитостью логистической инфраструктуры. На подъем сельского хозяйства направлены действия, предпринимаемые Правительством Республики Алтай, в частности, выделение денежных средств в сумме 2,1 млрд. рублей до 2030 года, в том числе на поддержку мелиоративной инфраструктуры.

Мелиорация земель в Республике Алтай имеет длительную историю, берущую начало в середине XX столетия, когда предпринимаемые государственные решения обеспечили ввод в эксплуатацию оросительных каналов, водоемов, противопаводковых дамб и сооружений. В 2025 году общая площадь мелиорированных земель составила 6,136 тыс. га (поливалось – 3,032 тыс. га, из них пашня составляла 1,265 тыс. га, сенокосы и пастбища – 1,069 тыс. га) [5].

В настоящее время к числу стратегических задач в области мелиорации земель относятся: организация противопаводковых мероприятий, сохранение искусственных водоемов, укрепление кормовой базы за счет расширения площади орошаемых земель, повышение урожайности сельскохозяйственных культур, внедрение цифровых технологий, обеспечивающих поддержку принимаемых решений[8].

Основные направления и подходы в развитии мелиорации земель изложены в Законе Республики Алтай от 1 декабря 2021 года №72-РЗ «О мелиорации земель в Республике Алтай». В 2026 году в закон были внесены дополнения, повышающие ответственность государственных мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений за увеличение площади орошаемых земель в Уймонской и Чуйской котловинах, Курайской степи [5,9].

Выполнен анализ работ волгоградских и алтайских ученых: ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», Горно-Алтайского НИИСХ (филиал), а также материалы практической деятельности Горно-Алтайского филиала ФГБУ «Управление «Алтаймелиоводхоз». Республика Алтай по природно-климатическим факторам разделена на три зоны:

низкогорную, среднегорную, высокогорную, которые учитываются при организации аграрной предпринимательской деятельности (рисунок 3.26).



I – низкогорная зона, II – среднегорная зона, III – высокогорная зона

Рисунок 3.26 – Агроклиматическое районирование Республики Алтай

Для низкогорной зоны республики характерен умеренный климат (сумма положительных температур около 1800°C , безморозный период – 95...100 дней), достаточное количество осадков (795 мм, за вегетационный период около 500 мм), наличие темно-серых лесных почв и черноземов с повышенным содержанием гумуса (6,8...7,7%), что позволяет обеспечивать интенсивную сельскохозяйственную деятельность. Специализация хозяйств, расположенных в этой зоне, связана с растениеводством (выращивание овса, гороха, кукурузы и подсолнечника на силос, клевера, тимофеевки, костреца) и молочно-мясным животноводством.

В среднегорной зоне сумма положительных температур составляет $1900...2010^{\circ}\text{C}$, безморозный период – 115...120 дней, среднегодовое количество осадков 450...560 мм, почвы – южные черноземы с содержанием гумуса 4...12%. Проблемой является расширяющаяся ветровая и водная эрозия. Сельскохозяйственная специализация в зоне – растениеводство и животноводство. Выращиваются овес, горох на зерно, кукуруза и подсолнечник на силос, люцерна, донник, эспарцет, кострец, тимофеевка.

Высокогорная зона является областью рискованного земледелия: засушливая и наименее теплообеспеченная; среднегодовое количество

осадков 105...125 мм; почвы светло-каштановые с низким содержанием гумуса - до 5%. Выращивание сельскохозяйственных культур, таких, как коострец безостый, овес и однолетние травы на сено, производится с помощью оросительных технологий. Специализация крестьянских хозяйств – мясное скотоводство, овцеводство, пуховое козоводство, коневодство. Развитие сельского хозяйства в Республике лимитируется природно-хозяйственными факторами и системой государственной поддержки [3,7,9].

На территории Республики Алтай находится 27 гидротехнических сооружений и шесть самонапорных мелиоративных систем. Растениеводство и кормопроизводство поддерживаются деятельностью муниципальных и частных мелиоративных объектов, в их числе: Буротинская ОС, Кайтанакская ОС, Кызыл-Яр, Ортолыкская ОС, Те-Те, Тульжин Лог, Узун-Тытугемская ОС, Ябоганская ОС (таблица 3.22) [6].

Таблица 3.22 – Мелиорированные системы Республики Алтай, 2024 год

Наименование мелиоративного объекта	Количество гидротехнических сооружений (шт.)	Физический износ ГТС (%)	Наличие мелиорированных земель, га
Чаган-Бургазинская ОС	40	98%	748
Елангашская ОС	35	100%	438
Тархатинская ОС	15	16%	820
Той-Самахинская ОС	12	100%	165
Участок орошения для КФХ «Карлагаш»	11	41%	75
Разведочно-эксплуатационная скважина	1	100%	654
Участок обводнения «Саяны»	1	100%	500
Итого	115		3400

Источник: Горно-Алтайского филиала ФГБУ «Управление «Алтаймелиоводхоз»

Основные степные массивы, где организовано сельскохозяйственное производство, приурочены к горным котловинам: Чуйской и Курайской. Ежегодно на площади 186,7 тыс. га проводится заготовка кормов, из них: 6,5 тыс. га - зерновые культуры, 38,2 тыс. га - однолетние травы, 54,8 тыс. га - многолетние травы, 87,2 тыс. га - естественные сенокосы [7,9]. Посевные площади, урожайность и выход кормовых единиц по всем категориям хозяйств в таблице 3.23.

В условиях горностепной зоны наибольшая урожайность зеленой массы в чистых посевах дает овес – 165,0 ц/га, в смешанных посевах более продуктивными являются: овес + горох – 160,0 ц/га; овес + вика – 170,0 ц/га.

Наибольшую урожайность однолетних травосмесей получают на землях в зоне действия Чаган-Бургазинской (54,0 ц/га), Елангашской (60,0 ц/га) и Тархатинской (60,0 ц/га) оросительных систем. В высокогорье большая часть пастбищ представлена ковыльковыми и типчаковыми степями (рисунок 3.27).

Таблица 3.23 – Посевные площади Республики Алтай, 2024 год

Наименование	Площадь посева, га	Средняя урожайность, ц/га	Всего к. ед., т
Вся посевная площадь	98 275		99 493
Зерновые	6 792	12,8	8 694
Однолетние травы, в т.ч.	38 335		33 506
на сено	30 594	24,3	31 168
на сочные корма	7 741	100,8	2 338
Многолетние травы, в т.ч:	53 148		34 341
на сено	52 496	14,4	32 822
на сенаж	652	66,7	1 519
Естественные сенокосы (сено)	40 985	12,5	22 952

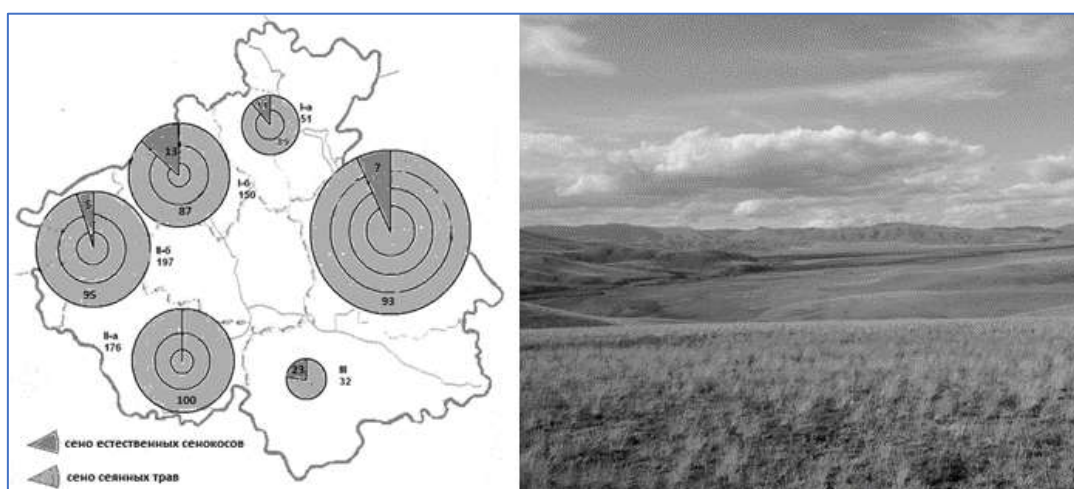


Рисунок 3.27 – Соотношение сеяных трав и естественных сенокосов, %; типчаковая степь, Кош-Агачский район, Республика Алтай, 2024 год.

Одним из побочных эффектов мелиорации земель при несоблюдении адаптивно-ландшафтных технологий является увеличение различных видов эрозии, которой подвержены 104,2 тыс. га, в т.ч. 39,5 тыс. га пашни, и водной эрозии - 53,5 тыс. га [7]. Засоленные земли, требующие проведения культуртехнических мероприятий, представлены преимущественно каштаново-луговыми и черноземно-луговыми солончаковыми и солончаковыми участками. Основным приемом улучшения их состояния

являются послойная обработка и посев солеустойчивых культур, в числе которых ячмень, кормовое просо, озимая рожь, донник и волоснец ситниковый. Характерной особенностью кормления животных является сочетание естественных и полевых культур (80:20). В большинстве хозяйств возделываемые кормовые культуры представлены многолетними и однолетними травами, многокомпонентными смесями. Основной зерновой культурой в животноводстве является овес, который выращивают на сено. Наибольшая урожайность зеленой массы овса на орошаемых землях составляет 165,0 ц/га.

Развитие сельского хозяйства в Республике Алтай зависит от состояния мелиоративной инфраструктуры. Расчетный оптимальный режим орошения для агроклиматических зон республики представлен в таблице 3.24 [2,6,7].

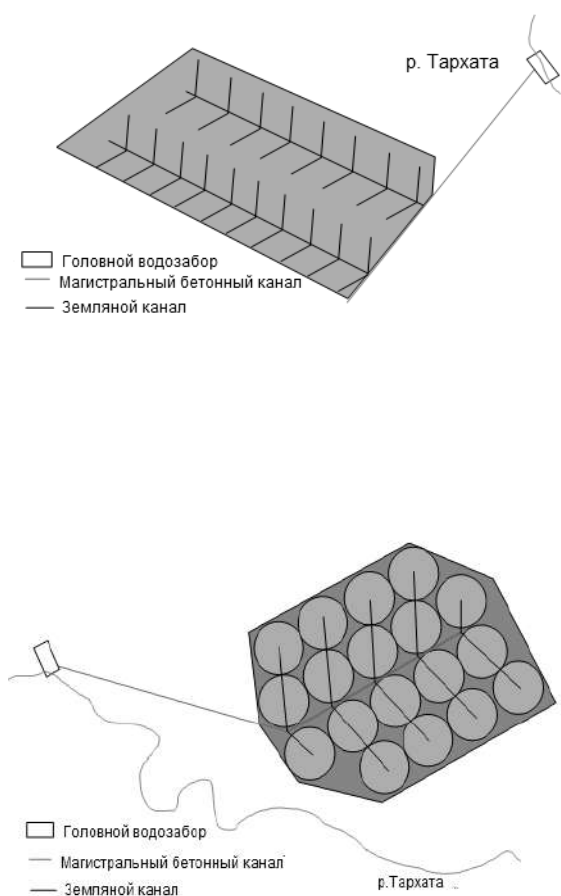
Таблица 3.24 – Режим орошения сельскохозяйственных культур по агроклиматическим зонам Республики Алтай, 2024 год.

Природные зоны	Однолетние и многолетние травы			Сенокосы и пастбища		
	начало вегетационного периода	Кратность полива	поливная норма, куб. м	начало вегетационного периода	Кратность поливов	поливная норма, куб. м
Предгорная: среднегодовое количество осадков 700 - 850 мм						
Майминский	10.V	3-4	500-600	10.V	3	500
Турочакский	10.V	3-4	500-600	10.V	3	500
Чойский	10.V	3-4	500-600	15.IV	3	500
Горностепная: среднегодовое количество осадков 380-560 мм						
Шебалинский	10-15. IV	5	300	10-15. IV	5	350-400
Онгудайский	10-15. IV	5	350	10-15. IV	5	450
Усть-Канский	10.V	5	350-400	20.IV	5	400-450
Усть-Коксинский	15.IV	5	300-400	10.IV	5	400-500
Высокогорная: среднегодовое количество осадков: Кош-Агач - 110-135; Улаган - 330-460 мм						
Кош-Агачский	10-15. IV	8-10	200-250	10.IV	8-10	200-250
Улаганский	5-10. V	5	300-350	20.IV	5-6	300-400

Одним из районов развития сельского хозяйства в Республике Алтай является Кош-Агачский, который расположен на высокогорье (площадь – 19 845 км², суровость климата). В настоящее время в Чуйской степи орошается около 4 тыс. га, что составляет 2,5 % от ее площади. Самой крупной оросительной системой является Тархатинская межхозяйственная оросительная система, строительство которой велось с 2008 по 2014 годы, с объемом инвестиций более 134 млн руб. После проведенной модернизации

система получила годовой водозабор в 332,3 тыс. м³, что позволило увеличить площадь полива до 983 га [2]. На рисунке 3.28 показаны изменения после модернизации системы.

.



Тархатинская межхозяйственная оросительная система до реконструкции:

- головной водозабор с плоскими затворами;
- ПС 1,3 x 1,2 м (для забора воды в ЗМК);
- 3 плоских затвора ПС 1 x 1,2 м (для забора воды в МБК);
- магистральный бетонный канал 6300 п. м.;
- магистральный земляной канал 9500 п. м.;
- 2 направляющие дамбы, объем 5 тыс. м³
- эксплуатационная дорога 9500 м.

Тархатинская межхозяйственная оросительная система после реконструкции:

- магистральный трубопровод – 9087 п.м.;
- распределительный магистральный трубопровод 1780 п.м., D – 720 мм;
- распределительный магистральный трубопровод 1572 п.м. D – 520 мм;
- габионное крепление 90 п. м;
- эксплуатационная дорога 14600 м;
- дождевальные машины (ДМ) «Фрегат»

Рисунок 3.28 – Эволюция Тархатинской межхозяйственной оросительной системы, республика Алтай.

Источник: Горно-Алтайского филиала ФГБУ «Управление «Алтаймелиоводхоз»

В ходе исследования совместно с Горно-Алтайским филиалом ФГБУ «Управление «Алтаймелиоводхоз» и хозяйством СППК «Р-242» был проведен расчет объёмов подачи воды по оросительной системе с учетом размещения дополнительных широкозахватных ДМ «Фрегат». Расход воды на оросительной системе определялся суммой расходов всех работающих дождевальных машин по формуле:

$$Q_{\text{дм},i} = \sum_{j=1}^n q_j, \quad (3.5)$$

где: $Q_{\text{дм}, i}$ – фактический расход ДМ из оросителя на n -й позиции, л/с;
 i – номер позиции ДМ на оросителе;
 n – количество одновременно работающих ДМ, шт.;
 q – расход одного работающего ДМ, л/с.

Отдельно рассчитывалась максимальная нагрузка на ДМ $Q_{\text{дм}, \text{max}}$, наименьший расход воды $Q_{\text{дм}, i}$. Установлено, что для устойчивой функциональной работы дождевальных машин рабочее давление в подводящих трубопроводах должно находиться в пределах 2 - 6 атмосфер. На участке трубопровода Тархатинской ОС длиной 4,5 км было запроектировано 6 ДМ «Фрегат», которые позволили увеличить площадь полива до 330 га (рисунок 3.29).



Рисунок 3.29 – Подготовка Тархатинской ОС к поливному сезону 2025 года
Источник: Горно-Алтайского филиала ФГБУ «Управление «Алтаймелиоводхоз»

Использование ВНИИОЗ-филиалом ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», Горно-Алтайским НИИСХ, Горно-Алтайским филиалом ФГБУ «Управление «Алтаймелиоводхоз» проектно-процессного подхода в развитии мелиоративного комплекса Республики Алтай представляется весьма эффективным. В число преимуществ проектно-процессного подхода можно включить увеличение плодородия почв, повышение урожайности, экономию водных ресурсов, предотвращение эрозии почв, автоматизацию процесса подачи воды. В этом случае применение зеленых агротехнологий, адаптивно-ландшафтных систем земледелия позволит аграриям перейти на щадящие способы обработки почвы, а перевод внутрихозяйственных оросителей на лотковые конструкции снизит потери на фильтрацию воды. Обеспечить дальнейшее развитие мелиорации земель должны помочь

технологии водосбережения при поливах, активное использование цифровых технологий, направленных на мониторинг оросительных систем Республики Алтай.

Развитие мелиорации земель – это путь к повышению конкурентоспособности сельского хозяйства. Агроклиматический потенциал Республики Алтай является достаточным для развития орошаемого земледелия на основе применения адаптивно-ландшафтных технологий, получения устойчивых урожаев. Формирование устойчивых орошаемых агроландшафтов, ориентированных на производство экологически чистой продукции с заложенным алгоритмом почвенного плодородия, требует значительных инвестиций. По одному из оптимистических сценариев развития Республики Алтай планируется к 2035 году за счет мелиорации увеличить объем производства сельскохозяйственной продукции в 1,3 раза, повысить рентабельность сельскохозяйственных организаций в 1,8 раз.

Список использованных источников

1. Melihov V.V. Development of irrigation based on various business payment systems / V.V. Melihov, A.A. Novikov [et al.] // Achievements of Science for the Agro-Industrial Complex. 2021. 843. 012059.
2. Meliorative institutional environment: the area of state interests / V. N. Shchedrin, S.M. Vasilev, A.V. Kolganov [et al.] // Espacios. 2018. 39. 12. 28-33.
3. Глотко А.В., Ищук Л.В., Швакова О.Н Основные направления пространственного и отраслевого развития сельского хозяйства и АПК Республике Алтай // Вестник ОрелГИЭТ. 2019. № 1 (47). С. 137-144.
4. Кочан Д.М., Репринцев В.А., Панченко А.В. Модель процесса формирования предложений в план мероприятий по инженерной защите территории в противопаводком периоде // Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции. Химки. 2022. С. 25-35.
5. Медведева Л. Н., Кошкарлова Т.С. Аналитическое обоснование кормопроизводства в высокогорных долинах на примере Республики Алтай // Journal of Agriculture and Environment. 2 (66). 2026.
6. Кречетова И.М., Медведева Л.Н. Развитие мелиорации для кормопроизводства республики Алтай // Орошаемое земледелие. 2020. 3. - С. 33-36. DOI: 10.35809/2618-8279-2020-3-6
7. Кутузова А.А., Привалова К.Н. Экономическая эффективность технологии создания и использования культурных пастбищ на основе усовершенствованных злаковых и бобово-злаковых травостоев // Достижения науки и техники АПК. 2019. 33. №10. С. 9-14.
8. Моделирование природно-техногенных процессов в мелиоративно-водохозяйственном комплексе: коллективная монография // Под ред. В.А. Шевченко // М.: ФНЦ гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, 2025. - 231 с.

9. Сайт Министерства сельского хозяйства Республики Алтай – Режим доступа: <https://mcx-altai.ru/?ysclid=manoxrimyr263319619> (дата обращения 12.03.2026).
10. Щедрин В.Н., Косиченко Ю.М., Колганов А.В. Гидравлический расчет резервного водосброса (водослива с широким порогом) // Мелиорация и гидротехника. 2022. № 4. - С. 34-38.

References

1. Melihov V.V. Development of irrigation based on various business payment systems / V.V. Melihov, A.A. Novikov [et al.] // Achievements of Science for the Agro-Industrial Complex. 2021. 843. 012059.
2. Meliorative institutional environment: the area of state interests / V. N. Shchedrin, S.M. Vasiliev, A.V. Kolganov [et al.] // Espacios. 2018. 39. 12. 28-33.
3. Glotko A.V., Ishchuk L.V., Shvakova O.N. The main directions of spatial and sectoral development of agriculture and agriculture in the Altai Republic // OrelGIET Bulletin. 2019. No. 1 (47). pp. 137-144.
4. Kochan D.M., Reprintsev V.A., Panchenko A.V.
A model of the process of forming proposals for the action plan for the engineering protection of the territory in the flood period // Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Khimki. 2022. pp. 25-35.
5. Medvedeva L. N., Koshkarova T.S. Analytical substantiation of feed production in high-altitude valleys on the example of the Altai Republic // Journal of Agriculture and Environment. 2 (66). 2026.
6. Krechetova I.M., Medvedeva L.N. Development of land reclamation for feed production in the Altai Republic // Irrigated agriculture. 2020. 3. Pp. 33-36. DOI: 10.35809/2618-8279-2020-3-6
7. Kutuzova A.A., Privalova K.N. Economic efficiency of technology for the creation and use of cultivated pastures based on improved cereal and legume-cereal stands // Achievements of science and technology of the agroindustrial complex. 2019. 33. No. 10. pp. 9-14.
8. Modeling of natural and man-made processes in the reclamation and water management complex: a collective monograph // Edited by V.A. Shevchenko // Moscow: A.N. Kostyakov Federal Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation, 2025. - 231 p
9. Website of the Ministry of Agriculture of the Altai Republic – Access mode: <https://mcx-altai.ru/?ysclid=manoxrimyr263319619> (accessed 12.03.2026).
10. Shchedrin V.N., Kosichenko Yu.M., Kolganov A.V. Hydraulic calculation of a reserve spillway (spillway with a wide threshold) // Melioration and hydraulic engineering. 2022. No. 4. - pp. 34-38.

Глава 4 **КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОСУШЕНИЮ ИЗБЫТОЧНО УВЛАЖНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ**

4.1 **СТРАТЕГИЯ АДАПТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕЛИОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСА БЕЛАРУСИ**

Структура управления мелиоративным комплексом Беларуси включает государственные организации по планированию, проектированию, выполнению мелиоративных работ и контролю их качества. Основная деятельность направлена на эффективную эксплуатацию инженерных сооружений, расположенных на 2,8 млн. га осушенных сельскохозяйственных земель. Эффективность определяется долговременным поддержанием технической исправности элементов мелиоративных систем, сохранением осушенной площади в землепользовании и уровнем рентабельности сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях.

Функции общего управления сельскохозяйственным мелиоративным комплексом возложены на Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь (МСХП), которое определяет единую государственную политику в области мелиорации земель. В своей работе МСХП взаимодействует с республиканскими органами государственного управления по вопросам инвестиционной деятельности, участвует в разработке проектов государственных и региональных программ, концепций, текущих мероприятий и контролирует их выполнение.

Главной структурой министерства, осуществляющей государственный надзор за содержанием и сохранением мелиоративных систем, является Государственное объединение по мелиорации земель, водному и рыбному хозяйству «Белводхоз» (ГО «Белводхоз»). ГО «Белводхоз» реализует единую государственную политику в области проектирования, строительства, эксплуатации мелиоративных систем, контролирует исполнение государственных и региональных программ по мелиорации земель, эксплуатации (обслуживанию) мелиоративных систем, ведение их государственного учета, технического надзора за выполнением строительных работ и эксплуатацией (обслуживанием), выполняет функции государственного заказчика по строительству, проектированию и эксплуатации мелиоративных систем.

На региональном уровне, при областных исполнительных комитетах, действуют государственные объединения по строительству и эксплуатации мелиоративных и водохозяйственных систем. Их деятельность направлена на исполнение единой государственной экономической, технической

и технологической политики в области организации проектирования, строительства и эксплуатации мелиоративных систем, выполнения республиканских программ мелиорации, формирования и исполнения программ в рамках местных бюджетов. Непосредственными исполнителями на стадии проектирования являются мелиоративные проектные институты, на стадии выполнения работ – передвижные механизированные колонны (ПМК) и предприятия мелиоративных систем (ПМС).

На рисунке 4.1 представлена структурная схема функционирования сельскохозяйственного мелиоративного комплекса, которая согласуется с официально утвержденными отраслевыми нормативами, включая первый из них – КМДМ 1.06-01 [1], который положил начало структурированию работ по проектированию, строительству и эксплуатации мелиоративных систем в Республике Беларусь.

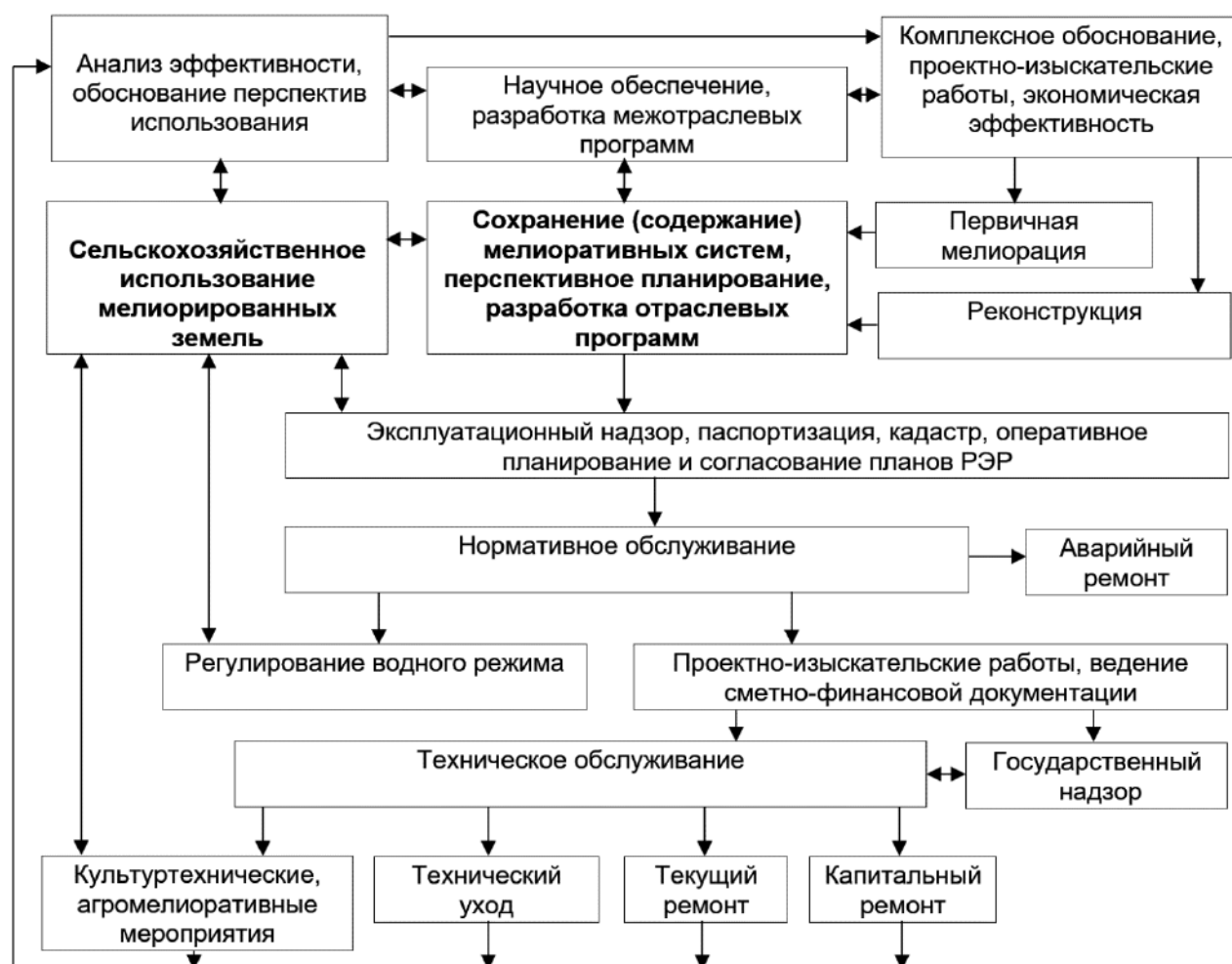


Рисунок 4.1 – Структурная схема функционирования сельскохозяйственного мелиоративного комплекса Беларуси

Структурная схема функционирования сельскохозяйственного мелиоративного комплекса Беларуси дополнена блоками, связывающими

между собой субъекты мелиоративного комплекса, включая организации, осуществляющие научное обеспечение, управленческие структуры, вырабатывающие и реализующие государственную политику в развитии мелиоративного комплекса, а также взаимодействующие между собой производственные мелиоративные организации (производящие эксплуатационные, ремонтно-восстановительные, строительные и проектно-изыскательские работы) и предприятия-землепользователи. В целом схема является идеализированным системным представлением взаимосвязей и взаимодействий между субъектами и объектами всего сельскохозяйственного мелиоративного комплекса. Причем, в соответствии с представленной схемой и отраслевыми нормативами, главными задачами технической эксплуатации являются:

1. *Эксплуатационный надзор* за выполнением требований по поддержанию в исправном, работоспособном состоянии всех элементов мелиоративных систем в соответствии с проектными параметрами, включая осуществление контроля режима их функционирования, структуры сельскохозяйственного использования и уровня агротехники на мелиорированных землях, сбор необходимой и достаточной информации для оперативного планирования всех ремонтно-эксплуатационных работ, агро-мелиоративных мероприятий и регулирования водного режима почв, согласование всех видов работ, ведение паспортизации и кадастра.

2. *Техническое обслуживание* (как составная часть нормативного обслуживания мелиоративных систем), включающее технический уход, проектно-изыскательские и ремонтно-восстановительные работы, организацию поверхностного стока, эксплуатационные агро-мелиоративные и природоохранные мероприятия.

3. *Технический уход*, включающий выполнение работ по предупреждению дефектов и аварий, профилактике неисправностей, ограничивающих или нарушающих:

- водопрпускную способность водоприемника, магистральной, проводящей и регулирующей открытой и закрытой сети;

- выполнение технологических функций гидротехническими и иными сооружениями на открытой и закрытой сети.

4. *Проектно-изыскательские работы* и ведение сметно-финансовой документации с целью обеспечения качественного планирования и разработки проектов ремонтно-восстановительных работ, организации поверхностного стока, эксплуатационных, агро-мелиоративных и природоохранных мероприятий.

5. *Ремонтно-восстановительные работы*, в т.ч. текущий, аварийный и капитальный ремонты, а также восстановление, в том числе с модернизацией инженерных элементов мелиоративных систем или с применением дополнительных мероприятий.

6. *Организация поверхностного стока*, включая агро- и гидромелиоративные приемы, направленные на своевременный сброс поверхностных вод с осушенных земель.

7. *Эксплуатационные агромелиоративные мероприятия*, предусматривающие глубокое сплошное или локальное рыхление (разуплотнение) почвы, щелевание, кротование, торфование, пескование, планировку, выравнивание или профилирование поверхности почвы, узкозагонную вспашку, бороздование, гребневание, грядование и т. д.

8. *Регулирование водного режима* мелиорированных почв (как составная часть нормативного обслуживания мелиоративных систем) с учетом ресурсов осушительно-увлажнительных систем, установленных и обоснованных в проектной документации.

9. *Проведение природоохранных мероприятий*, предусмотренных проектом или дополнительных к нему, согласованных с инспекциями природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Оперативное планирование, проектирование и выполнение работ по технической эксплуатации мелиоративных систем проводится специализированными эксплуатационными предприятиями и проектными организациями. Хозяйства-землепользователи, имеющие мелиорированные земли на своем балансе, используют их на правах хозяйственного ведения в соответствии с установленными нормами. При этом проводят эксплуатационные работы на внутрихозяйственной части мелиоративных систем или самостоятельно, или нанимают для их выполнения подрядчиков в лице эксплуатационных предприятий.

Проектные организации, в свою очередь, ведут проектно-изыскательские работы, разрабатывают проектно-сметную документацию, необходимую для планирования и проведения ремонтно-восстановительных работ, организации поверхностного стока, эксплуатационных агромелиоративных мероприятий и регулирования водного режима почв (рисунок 4.1).

Эксплуатационные организации, имеющие мелиоративные системы на своем балансе, все виды работ, составляющих техническую эксплуатацию, осуществляют на всех элементах мелиоративных систем, включая межхозяйственную сеть, а также на элементах внутрихозяйственной сети, состоящих на балансе или на правах хозяйственного ведения

у землепользователей, в соответствии с заключенными договорами между эксплуатационными организациями и землепользователями.

Землепользователи, помимо осуществления функций заказчика или исполнителя мелиоративных работ на внутрихозяйственной сети, принимают участие в планировании и проведении эксплуатационного надзора, регулировании водного режима почв, организации поверхностного стока, агромелиоративных и природоохранных мероприятий на используемых ими мелиорированных землях, а также в согласовании соответствующей проектно-сметной документации.

Следует отметить, что экономически обоснованные агротехнические требования, задающие перечень выполняемых работ для субъектов мелиоративного комплекса (эксплуатационных и проектных мелиоративных организаций, землепользователей), до настоящего времени четко не прописаны по причине особой сложности разделения ответственности за эффективность мелиорации (включающей не только техническое состояние всего мелиоративного комплекса или конкретной мелиоративной системы, но и достигнутую продуктивность осушенных земель). Поэтому представленные в статье положения адаптивной стратегии эксплуатации мелиоративных систем можно рассматривать как свод правил взаимодействия мелиоративных организаций и землепользователей, имеющих целью повышение эффективности функционирования мелиоративного комплекса и организацию взаимного контроля результатов общей работы.

Эффективность технической эксплуатации, как и мелиорации в целом, напрямую связана с эффективностью использования мелиорированных земель, которая, в свою очередь, зависит от направлений и структуры их использования, а также от уровня ведения сельскохозяйственного производства. Этот вывод очевиден, поскольку водный режим мелиорированных почв и его колебания в течение года определяются конструкцией и техническим состоянием элементов мелиоративных систем, заданным в проектах и рассчитанным под определенное направление и структуру сельскохозяйственного использования.

В проектах также обосновываются плановые показатели землепользования, при которых обеспечивается нормативная окупаемость расходов на мелиорацию средств. Если результаты работы землепользователя не дотягивают до заданных в проекте, то и соответствующим образом снижаются экономические показатели эффективности мелиорации, которая с какого-то уровня продуктивности мелиорированных земель может стать убыточной. Именно поэтому адаптивная стратегия эксплуатации мелиоративных систем предполагает

согласование перечня выполняемых эксплуатационных работ с достигнутой землепользователем продуктивностью мелиорированных земель, а точнее с ее соотношением к заданному в проекте уровню (таблица 4.1). Причем, в соответствии с достигнутой продуктивностью мелиорированных земель (по сравнению с заданной проектом) предполагается уточнение, согласование и утверждение (с участием субъектов мелиоративного комплекса, местных исполнительных и распорядительных органов) сбалансированного перечня выполняемых работ по техническому обслуживанию мелиоративной системы и регулированию водного режима почв (таблица 4.1). Целью этой процедуры является обеспечение окупаемости инвестиций через достижение баланса между затратами на мелиорацию, достигнутой продуктивностью (выручкой от реализации продукции) и прибылью, полученной с мелиорированных земель.

Если достигнутая продуктивность невысока, но потенциальное плодородие мелиорированных почв превышает средний уровень плодородия на прилегающих площадях (хозяйства, района), то может планироваться передача мелиоративной системы более успешному землепользователю. При пониженном плодородии целесообразно выводить мелиорированные земли из сельскохозяйственного оборота. Альтернативным вариантом при достаточно высоком потенциальном плодородии может быть адаптация направлений и структуры их использования к создаваемому с экономически обоснованными затратами или складывающемуся природному водному режиму.

Стратегия адаптивной эксплуатации гидромелиоративных систем основывается на сбалансированности эксплуатационных затрат и достигнутой продуктивности мелиорированных земель. Помимо целесообразного (экономически обоснованного) перечня эксплуатационных работ требует уточнения очередность их выполнения по элементам мелиоративных систем. Например, в последние годы на некоторых мелиоративных объектах выявлены факты неудовлетворительного состояния водного режима (длительных подтоплений и затоплений) на значительных участках после прохождения экстремальных весенних и летне-осенних паводков при вполне удовлетворительном состоянии мелиоративной сети этих участков. Причиной явилась пониженная водопропускная способность расположенных ниже по течению проводящих каналов и водоприемников.

Очевидно, что для исключения подобных фактов и снижения ущерба от экстремальных природных явлений необходимо более обоснованно планировать и проводить ремонтно-эксплуатационные работы, начиная с технического обслуживания элементов мелиоративной системы.

Таблица 4.1 – Стратегия адаптивной эксплуатации гидромелиоративных систем

Соответствие достигнутой продуктивности проектному уровню	Направления работы с гидромелиоративной системой (ГМС)	Перечень требуемых работ (до начала капремонта, реконструкции или вывода мелиорированных земель из сельскохозяйственного оборота)	
		Техническое обслуживание	Управление водным режимом
Превышает 85% от проектной	Сохранение, повышение работоспособности и надежности ГМС	В полном объеме: ежегодные окашивание и подчистка открытых каналов, контроль состояния закрытого дренажа, определение и реализация мер по повышению надежности его работы, поддержание в работоспособном состоянии всех сооружений ГМС, проведение необходимых эксплуатационных работ, включая ремонты, агро-мелиоративные и природоохранные мероприятия	Любые технологии в зависимости от наличия ресурсов ГМС (вплоть до использования ГИС)
70-85% от проектной	Определение причин снижения продуктивности; оценка необходимости проведения капитального ремонта или реконструкции ГМС; проведение только первоочередных РЭР	Ежегодная разовая окашивание проводящей открытой сети и ее подчистка при снижении водопроводящей способности ниже 70% от проектной; нормативный уход за устьевой и коллекторной частью закрытого дренажа; проведение необходимых агро-мелиоративных мероприятий	Простейшая технология регулирования уровней воды в каналах (уровней грунтовых вод)
50-70% от проектной	Определение причин низкой продуктивности; оценка необходимости проведения капитального ремонта или реконструкции, или консервации ГМС; поиск более успешного землепользователя	Проведение агро-мелиоративных мероприятий, направленных только на организацию поверхностного стока, обеспечение водопроводящей способности открытых каналов не ниже 50% от проектной (начало консервации системы)	Обеспечение работы ГМС только на сброс избыточных вод
Менее 50% от проектной	Определение причин низкой продуктивности; оценка необходимости проведения капитального ремонта или реконструкции ГМС; поиск более успешного землепользователя или вывод мелиорированных земель из сельскохозяйственного оборота	Проведение агро-мелиоративных мероприятий, направленных только на организацию поверхностного стока, обеспечение стока воды из открытых каналов (консервация системы)	Обеспечение работы ГМС только на сброс избыточных вод

На основании анализа возможных вариантов планирования уходных и ремонтно-восстановительных работ в РУП "Институт мелиорации" предложена оптимизационная модель для установления очередностью технического обслуживания элементов мелиоративной системы, которая реализуется в два этапа.

Целью первого этапа является определение очередности технического ухода, которое по установленной методике производится проектной организацией и указывается в разделе «Эксплуатация» проектов строительства, капремонта или реконструкции мелиоративной системы. В пределах мелиоративного объекта технический уход рекомендуется проводить в порядке, установленном, исходя из ранжирования элементов мелиоративной системы по плодородию почв в зонах влияния и по функциональной важности, определяемой зоной влияния каждого элемента относительно площади мелиоративной системы.

На втором этапе, выполняемом в эксплуатационной организации, устанавливается очередность проведения текущих ремонтно-восстановительных работ. Здесь, помимо проектных показателей, учитывается фактическое техническое состояние любого элемента мелиоративной системы на данный период.

Выводы о техническом состоянии мелиоративной системы и ее элементов делаются по результатам надзора и согласованной экспертной оценки представителями эксплуатационных, проектных организаций и землепользователей. Параметры, по которым рассчитывается очередность и производится выбор элементов для ремонта, устанавливаются в ходе обследования.

Технологическая схема установления очередностью технического обслуживания основывается на количественных показателях приоритетности каждого элемента в функционировании мелиоративной системы и выстраивании показателей очередности по их численным значениям в убывающем порядке. В соответствии с предлагаемой схемой требуют внимания, прежде всего, элементы мелиоративной системы, от которых в наибольшей степени зависит своевременный сброс излишних вод с мелиорируемой площади и в зоне влияния которых расположены наиболее потенциально плодородные почвы. При недостатке средств на производство в данном году всех необходимых работ (по техническому обслуживанию) выделяются элементы мелиоративной системы, стоящие в начале очереди, техническое обслуживание которых можно выполнить за выделенные средства. Окончательная очередность технического ухода и ремонта

элементов МС устанавливается путем объединения элементов в группы для одновременного ремонта на совпадающих зонах влияния.

Ресурсосберегающая стратегия проведения ремонтно-восстановительных работ на гидромелиоративных системах основывается на сохранении устойчивых к внешним воздействиям форм открытых каналов и водотоков, приобретенных в процессе эксплуатации и длительное время демонстрирующих высокую надежность. В отдельных случаях рекомендуется даже адаптировать структуру использования мелиорированных земель к установившемуся водному режиму, не восстанавливая к проектному уровню измененные в процессе эксплуатации параметры элементов мелиоративных систем, показавшие надежность и устойчивость к внешним воздействиям (таблица 4.2).

Если положенный в основу проекта способ мелиорации соответствует условиям объекта, но в процессе эксплуатации некоторые элементы мелиоративной системы, реализующие этот способ, вышли из строя, то предусмотрена замена неисправных конструкций или их элементов на более современные, надежные, технически совершенные, экономически эффективные.

При локальных нарушениях водного режима, вызванных изменением внешних условий (например, понижением отметок поверхности осушаемых полей в результате сработки осушенной торфяной почвы), предполагается применение дополнительных мероприятий, использование новых, прогрессивных, более экономичных (по сравнению с прежними) проектных технических решений, включая ориентацию на другие способы мелиорации.

Кроме того, в разработанной ресурсосберегающей стратегии ремонтно-восстановительных работ учтены основные положения адаптивной стратегии эксплуатации [2]. Приоритет установлен не только за экологически сбалансированными и экономически эффективными способами мелиорации, но и за свободой обоснованного выбора направлений использования осушенных земель, вплоть до консервации мелиоративной системы или вывода земель из сельскохозяйственного оборота (таблица 4.1).

Контроль технического состояния элементов мелиоративной системы дополняется оценкой водного режима мелиорированных почв. Это позволяет выявить главные признаки несоответствия фактического мелиоративного состояния условиям эффективного сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях. Полученные выводы используются при разработке рекомендаций по проведению ремонтно-восстановительных работ и регулированию водного режима почв.

Таблица 4.2 – Ресурсосберегающая стратегия проектирования и выполнения ремонтно-восстановительных работ

Предложенные и реализованные проектные решения по способам мелиорации	Выявленные главные признаки	Рекомендуемые решения
Соответствуют природным условиям объекта мелиорации	Приобретенные в процессе эксплуатации и длительное время не изменяющиеся, устойчивые к внешним воздействиям формы открытых каналов и водотоков с осушительной способностью, обеспечивающей производительную работу необходимой (под определенное направление использования) сельскохозяйственной техники на прилегающих площадях даже при отсутствии ремонтно-восстановительных работ на мелиоративной сети	<i>Сохранение устойчивых к внешним воздействиям форм</i> открытых каналов и водотоков, внесение соответствующих коррективов в проектные решения с целью адаптации направления и структуры использования мелиорированных земель к фактически установившемуся водному режиму
	Неисправности, повлекшие нарушения заданного проектом функционирования конструкций	<i>Восстановление в проектных параметрах</i>
	Дополнительно к неисправностям несовершенство конструкций	<i>Восстановление с модернизацией</i>
Не обеспечивают качественного регулирования водного режима почв на отдельных участках объекта мелиорации	Подтопления, затопления либо иссушение почв на отдельных участках объекта мелиорации, локально нарушающие заданный проектом водный режим, при экономически или экологически обоснованной нецелесообразности, либо недостаточности восстановления относящихся к ним элементов мелиоративной системы до проектных параметров	<i>Применение дополнительных мероприятий</i> (новые конструкторские решения, агромелиоративные мероприятия, устройство экологических зон)
Требуют существенной корректировки	Нарушения водного режима на значительной площади при экономически или экологически обоснованной нецелесообразности, либо недостаточности восстановления основных элементов мелиоративной системы до проектных параметров	<i>Реконструкция</i>

Очевидно, что наиболее эффективная для конкретных условий технология регулирования водного режима на осушительно-увлажнительных системах (ОУС) может быть выбрана только после проведения комплексной оценки ресурсов ОУС как объектов управления уровнями грунтовых вод [3]. Шкала комплексной оценки ресурсов ОУС, представлена в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Шкала комплексной оценки ресурсов при управлении УГВ на ОУС (на участке регулирования ОУС)

Ресурс ОУС при управлении УГВ	Характеристика увлажнительной способности водоисточника	Характеристика рельефа (часть подкомандной площади, увлажняемой при регулировании УГВ)	Гидрогеологические условия - коэффициент фильтрации (Кф), м/сут	Головные гидротехнические сооружения (подпорные)	Степень окультуривания почв, индекс агрохимической окультуренности (U_o)	Достигнутая продуктивность мелиорированных почв от проектной, %
Высокий	Достаточна для увлажнительного шлюзования. Режим водоисточника соответствует режиму увлажнения почв ОУС (участка регулирования)	Более 85%	>1,5	Исправны, обеспечивают увлажнение на всей ОУС (на участке регулирования), обобщенная надежность функционирования превышает 85% (степень неисправности менее 15%)	Высокоокультуренная, U_o превышает 0,8	Превышает 85
Средний	Обеспечивает предупредительное шлюзование, а режим водоисточника (или выделенные лимиты) соответствуют режиму увлажнения не менее чем на 70% площади ОУС (участка регулирования)	70-85%	1,0-1,5	Исправны частично, обобщенная надежность функционирования составляет 70-85% (степень неисправности 15-30%)	Среднеокультуренная, $U_o = 0,6-0,8$	70-85
Низкий	Обеспечивает увлажнение сельхозкультур на 50-70% площади ОУС (участка регулирования)	50-70%	0,5-1,0	Исправны частично, обобщенная надежность функционирования составляет 50-70% (степень неисправности 30-50%)	Низкоокультуренная, $U_o = 0,4-0,6$	50-70
Очень низкий	Обеспечивает увлажнение сельскохозяйственных культур менее чем на 50% площади ОУС (участка регулирования)	Менее 50%	<0,5	Неисправны, обобщенная степень неисправности превышает 50%	Неокультуренная U_o менее 0,4	Менее 50

В комплексной оценке возможностей ОУС, как объектов управления, должны участвовать основные ресурсы, определяющие потенциальную эффективность двустороннего регулирования водного режима почв: водоисточник, рельеф увлажняемых земель, гидрогеологические показатели почвогрунтов, техническое состояние подпорных сооружений, степень окультуривания и достигнутая продуктивность мелиорированных земель.

Практическое исполнение функций контроля водного режима осуществляется с помощью соответствующего обустройства осушительно-увлажнительных систем, которое включает стадии проектирования и практической реализации проекта [4]. При проектировании на открытой мелиоративной сети выделяются реперные (опорные) сооружения, используемые для контроля уровня воды в каналах. Для каждого реперного сооружения определяются контуры участков регулирования водного режима; на этих участках проектируются наблюдательные колодцы для контроля уровней грунтовых вод, для них же строится график топографической характеристики (кривой распределения площади по отметкам поверхности) и определяется расчетная отметка поверхности каждого участка регулирования.

При практической реализации проекта обустройства изготавливаются и устанавливаются в намеченных местах наблюдательные колодцы. На реперных сооружениях и наблюдательных колодцах обозначается расчетная отметка поверхности относящихся к ним участков регулирования.

По разработанной градации для ОУС и для каждого участка регулирования необходимо выделить лимитирующий ресурс, который и ограничивает выбор технологии управления водным режимом. Технология регулирования водного режима почв выбирается в зависимости от наличия ресурсов конкретной ОУС (таблица 4.3) в соответствии с адаптивной стратегией эксплуатации (таблица 4.1). Таким образом достигается приемлемый баланс между затратами на мелиоративные мероприятия и достигнутой продуктивностью мелиорированных земель.

Таким образом, на основании обобщения полученных в последние годы результатов научных исследований предложена адаптивная стратегия эксплуатации сельскохозяйственного мелиоративного комплекса Беларуси. Ее цель состоит в максимальном повышении эффективности комплекса, что достигается приведением в обоснованное соответствие затрат на выполнение ремонтно-эксплуатационных работ к уровню интенсивности сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях.

Чем эффективнее сельхозпроизводство у землепользователя, тем качественнее должен поддерживаться рекомендуемый водный режим

мелиорированных почв. При снижении эффективности работы землепользователя устанавливаются причины этого снижения. Если они не лимитируются водным режимом мелиорированных почв, то согласовано снижаются затраты на ремонтно-эксплуатационные работы, вплоть до консервации системы. При потенциальном плодородии мелиорированных почв, превышающем средний уровень плодородия на прилегающих площадях (хозяйства, района), может планироваться передача мелиоративной системы более успешному землепользователю. При пониженном плодородии целесообразно выводить мелиорированные земли из сельскохозяйственного оборота. Альтернативным вариантом при достаточно высоком потенциальном плодородии мелиорированных почв может быть адаптация направлений и структуры их использования к создаваемому (с экономически обоснованными затратами) водному режиму.

Для повышения эффективности эксплуатационных работ устанавливается очередность технического обслуживания элементов мелиоративной системы по количественным показателям приоритетности каждого элемента в функционировании мелиоративной системы. В соответствии с предлагаемой технологической схемой установления очередности требуют внимания, прежде всего, элементы мелиоративной системы, от которых в наибольшей степени зависит своевременный сброс излишних вод с мелиорируемой площади и в зоне влияния которых расположены наиболее потенциально плодородные почвы.

При ликвидации разрушений предусмотрена замена неисправных конструкций или их элементов на более современные, надежные, экологически сбалансированные и экономически эффективные. В отдельных случаях рекомендуется адаптировать структуру использования мелиорированных земель к фактически установившемуся водному режиму, не восстанавливая к проектному уровню измененные в процессе эксплуатации параметры элементов мелиоративных систем, показавшие устойчивость к внешним воздействиям.

Список использованных источников

1. Мелиоративные системы и сооружения. Организация работ по проектированию, строительству и эксплуатации. КМДМ 1.06-01. - Мн.: Белмелиоводхоз, 2006. - 55 с.
2. Рекомендации по комплексному обслуживанию закрытой дренажной сети на базе современного ресурсосберегающего оборудования. Производственно-практическое издание / А.С. Анженков, В.А. Болбышко, Г.В. Латушкина, А.П. Лихацевич, Г.Ю. Левин; РУП «Институт мелиорации. – Минск: ИВЦ Минфина, 2024. – 34 с.
3. Анженков А.С., Лихацевич А.П., Латушкина Г.В., Левкевич А.А. Оценка ресурса работоспособности самотечных осушительных и осушительно-увлажнительных систем

с длительным сроком эксплуатации / А.С. Анженков, А.П. Лихацевич, Г.В. Латушкина, А.А. Левкевич // Мелиорация. – 2025. – № 4 (114). – С. 7-13.

4. Способы оперативного контроля водного режима почвы и принятия решений по его регулированию на мелиоративных системах. Рекомендации. - Мн.: Институт мелиорации, 2007. - 28 с.

References

1. Land reclamation systems and structures. Organization of work on design, construction and operation. KMDM 1.06-01. - Мн.: Belmeliovodkhoz, 2006. - 55 p.

2. Recommendations on complex maintenance of a closed drainage network on the basis of modern resource-saving equipment. Production and Practical Publication / A.S. Anzhenkov, V.A. Bolbyshko, G.V. Latushkina, A.P. Likhatchevich, and G.Yu. Levin; Institute of Land Reclamation. – Minsk: IVC of the Ministry of Finance, 2024. – 34 p.

3. Anzhenkov A.S., Likhatchovich A.P., Latushkina G.V., Levkevich A.A. Assessment of the Resource of Self-Propelled Drainage and Drainage-Moistening Systems with a Long Service Life / A.S. Anzhenkov, A.P. Likhatchovich, G.V. Latushkina, A.A. Levkevich // Melioration. – 2025. – No. 4 (114). – Pp. 7-13.

4. Methods of operational control of the water regime of the soil and decision-making on its regulation on reclamation systems. Recommendations. - Мн.: Institute of Land Reclamation, 2007. - 28 p.

4.2 ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ДРЕНАЖНОГО СТОКА И РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ВЕСЕННЕГО ПАВОДКА

В гидромелиоративной практике определение количества и качества дренажного стока является одним из важнейших параметров при проектировании систем осушения, разработке мероприятий по комплексному использованию и охране водных объектов, а также для оценки эффективности действия дренажа. Процессы формирования дренажного стока зависят от различных природных и техногенных факторов: осадков, температуры и влажности воздуха, типа водного питания, свойств грунтов, конструкций и параметров дренажа и других. Для изучения этих процессов следует проводить многолетние систематический мониторинг за параметрами дренажного стока, а также уровнем грунтовых вод на дренируемых территориях и, в первую очередь, на техногенно-нагруженных.

Дренажный сток оценивается в основном по следующей группе показателей: расход дренажного стока, объём дренажного стока, концентрации загрязняющих веществ и минерализация дренажного стока [1-5].

Исследованиями установлено, что при количественной оценке объема дренажного стока и параметров его минерализации возникали осложнения, связанные с недостатком, а в некоторых случаях с отсутствием данных

о дренажном стоке с мелиоративных систем. В то же время, показатели минерализации дренажных вод в среднем составляют 0,22...1,60 г/л, а на некоторых системах они достигают 2,1...4,7 г/л, что говорит о возможности использования в орошении сельскохозяйственных культур на различных типах почв и для рыборазведения [4].

Однако, следует отметить, что с дренажными водами в результате сбросов с территорий сельскохозяйственного производства в водные объекты попадают стоки, содержащие растворенные органические вещества, сульфаты, хлориды, соединения азота, пестициды, микроэлементы, в том числе тяжелые металлы, а при сбросе дренажных вод с орошаемых земель – ряд химических элементов [3]. Также в последние годы отмечается рост минерализации и повышение содержания сульфатов и нитратов до 2ПДК в природных водных объектах бассейна Нижнего Дона, которые связывают с интенсивным ведением агропроизводства в регионе и, в первую очередь, с развитым орошаемым земледелием. В целом необходимо отметить, существенный вклад дренажного стока в гидрохимический режим природных водных объектов, поскольку объёмы дренажного стока с коллекторов ежегодно оцениваются более 20 млн м³ [1].

Таким образом, количественная оценка дренажного стока позволяет определять площади увлажнения, объёмы аккумуляирования дренажных вод и в целом определяет конструктивные особенности гидромелиоративных осушительно-увлажнительных, водооборотных и рециклинговых систем, их работоспособность и надёжность в различные периоды прохождения паводков. Это одно из направлений экологического совершенствования мелиоративных технологий, направленное на повышение продуктивности и сокращение затрат воды на единицу товарной продукции и минимизацию экологических ущербов [5], в том числе при планировании агропромышленного производства и градостроительства, обеспечении экологической безопасности и снижении риска негативных последствий для окружающей среды, связанных с неконтролируемым поверхностным стоком [6].

Целью наших исследований являлось определение периода расхода дренажного стока на опытном полигоне ВНИИМЗ «Губино» во время весеннего снеготаяния. Для этого нами были поставлены задачи и проведены следующие работы [2]:

1. Анализ состояния дренажных и коллекторных труб и оценка возможности установления датчиков-расходомеров;
2. Комплектация (сборка) цифрового гидрологического комплекса (ЦГК);

3. Установка ЦГК на коллекторные трубы в дренажных колодцах;
4. Определение площади осушения территории, соответствующей конкретному коллектору (дрене);
5. Анализ полученных полевых данных по ежесуточному расходу, передаваемых цифровым комплексом на сервер;
6. Расчёт модуля дренажного стока на основании полученных данных.

Фиксация расхода дренажного стока и передача данных проводилась посредством разработанного сотрудниками отдела физики, гидрологии и эрозии почв измерительного цифрового гидрологического комплекса [2, 7], который включает (рисунок 4.2):

1. GSM-логгер – блок приёма-передачи данных;
2. Импульсный датчик-расходомер (Decast ВСКМ 90-15 ДГ, 80 мм, 1л/имп), регистрирующий данные расхода воды с частотой 1 импульс/литр и передающий импульсы с периодичностью 1 мин.
3. Переходник для монтажа расходомера на коллектор в дренажном колодце (диаметр 110 мм);
4. Антенна для передачи полевых данных на сервер ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт имени В.В.Докучаева».



Рисунок 4.2 – Измерительный гидрологический комплекс для регистрации расхода воды в коллекторе

Разработанные комплекты установлены на трёх элементах рельефа: по 2 логгера в 2-х колодцах на водоразделе (участки №№ 1, 2 и 3), на средней части склона (участки №№ 4 и 5) и в нижней части склона (участки №№ 6, 7 и 8).

Весной 2025 г. на территории опытного полигона «Губино» ФГБНУ ВНИИМЗ в приемных дренажных колодцах были установлены цифровые гидрологические комплексы (ЦГК) с подключенными к ним датчиками-расходамерами.

Для оценки работы ЦГК и определения расхода дренажного стока был выбран участок № 5, находящийся в транзитной зоне на северном склоне. Площадь осушения данного участка, согласно схеме осушения, составляет 9500 м². Дренаж систематический, керамический. Глубина заложения дрен – 0,90...1,1 м, среднее междреннее расстояние – 20 м. Почвы дерново-подзолистые, легко- и среднесуглинистые на моренном суглинке, хорошо окультуренные. Промежуток регистрации расхода воды во время весеннего паводка начинался с даты регистрации первого расхода 01 марта 2026 г.

Каждый датчик-расходомер (Decast ВСКМ 90-15 ДГ) посредством специализированной программы был настроен на регистрацию параметра «расход, Q ». Запроектированные ЦГК каждые сутки в 00 час. 00 мин. передают накопленный массив данных по расходу дренажного стока, который фиксируется логгером каждые 5 мин.

На рисунке 4.3 показан интерфейс программы, в которой приводятся регистрируемые данные дренажного стока на одном из участков осушения.

Для оценки параметров дренажного стока применялся экспериментальный метод (метод гидрологического мониторинга), при котором были проведены натурные регулярные систематические измерения объёмов дренажного стока на мелиоративном стационаре ФГБНУ ВНИИМЗ.

Корреляционно-регрессионный анализ почвенных данных, а также графические построения выполнялись с использованием компьютерной программы Excel.

Анализ полученных полевых данных показал, что начало работы дренажной системы, соответствующее регистрации первого расхода воды (01 марта) цифровым гидрологическим комплексом на уровне 70 л/сут наступило на 2-й день после достижения дневной температуры воздуха +3°C (рисунок 4.4). За период с начала работы системы до окончания регистрируемого периода (01-19 марта) с осушаемого участка, расположенного в транзитной зоне, через устье коллектора было пройдено 167 023 л дренажного стока, что соответствует среднему суточному расходу на уровне 8 791 л.

Тип отчета	Расход; Интервал измерения: Сутки	
Период	с 25.02.2026 по 24.03.2026	
Дата составления	24 марта 2026 г. 15:16:45	
Общая группа => Подгруппа => НОВЫЙ! Колодец №2. ВНИИМз. => СТ1	Время начала измерения	Расход, Q (расход), л
	25.02.2026 00:00:00	0
	26.02.2026 00:00:00	0
	27.02.2026 00:00:00	0
	28.02.2026 00:00:00	0
	01.03.2026 00:00:00	70
	02.03.2026 00:00:00	1886
	03.03.2026 00:00:00	4344
	04.03.2026 00:00:00	4965
	05.03.2026 00:00:00	4700
	06.03.2026 00:00:00	4479
	07.03.2026 00:00:00	4788
	08.03.2026 00:00:00	4649
	09.03.2026 00:00:00	4911
	10.03.2026 00:00:00	5926
	11.03.2026 00:00:00	8864
	12.03.2026 00:00:00	12516
	13.03.2026 00:00:00	14996
	14.03.2026 00:00:00	14585
	15.03.2026 00:00:00	13559
	16.03.2026 00:00:00	13302
	17.03.2026 00:00:00	16162
	18.03.2026 00:00:00	19658
	19.03.2026 00:00:00	12663
Суммарный расход за отчетный период 25.02.2026 0:00:00...20.03.2026 0:00:00		167023

Рисунок 4.3 – Интерфейс программы для регистрации данных цифрового гидрологического комплекса

За период наблюдений 01-19 марта 2026 метеостанцией, расположенной в н.п. Эммаусс ежедневно регистрировались осадки, которые не достигли критерия «эффективных», то есть были менее 5 мм и находились в пределах 0,7...2,5 мм. Сопоставимый анализ осадков и динамики расхода дренажного стока показал, что осадки не оказали какого-либо воздействия на темпы снеготаяния, весенний паводок и динамику расхода дренажного стока (рисунок 4.4).

Средний модуль дренажного стока на анализируемом участке №5 опытного полигона «Губино» составил 0,107 л/(с*га), а максимальное значение гидромодуля достигало 0,239 л/(с*га). Выявлена высокая степень корреляции ($R^2 = 0,88$) увеличения расхода дренажного стока от роста

температуры воздуха, а также временное смещение (запаздывание) на 1...2 сут. отклика дренажного расхода при фиксировании увеличения температуры (рисунок 4.5).

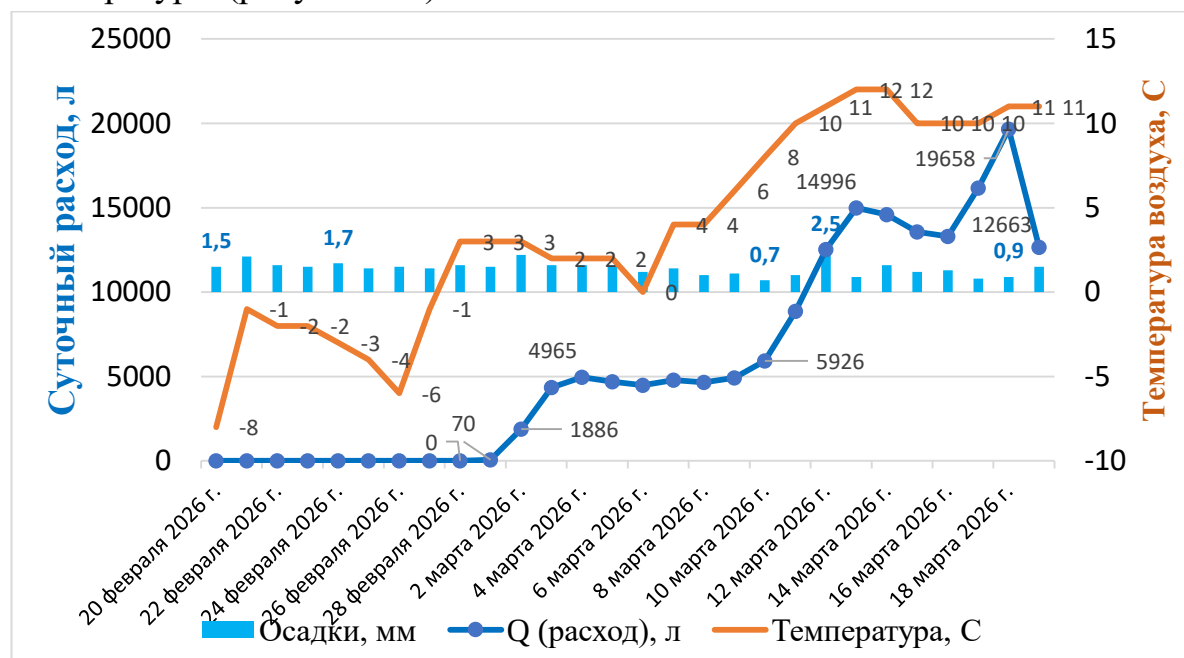


Рисунок 4.4 – Динамика осадков, температуры воздуха и дренажного суммарного суточного расхода на участке №5 опытного полигона «Губино»

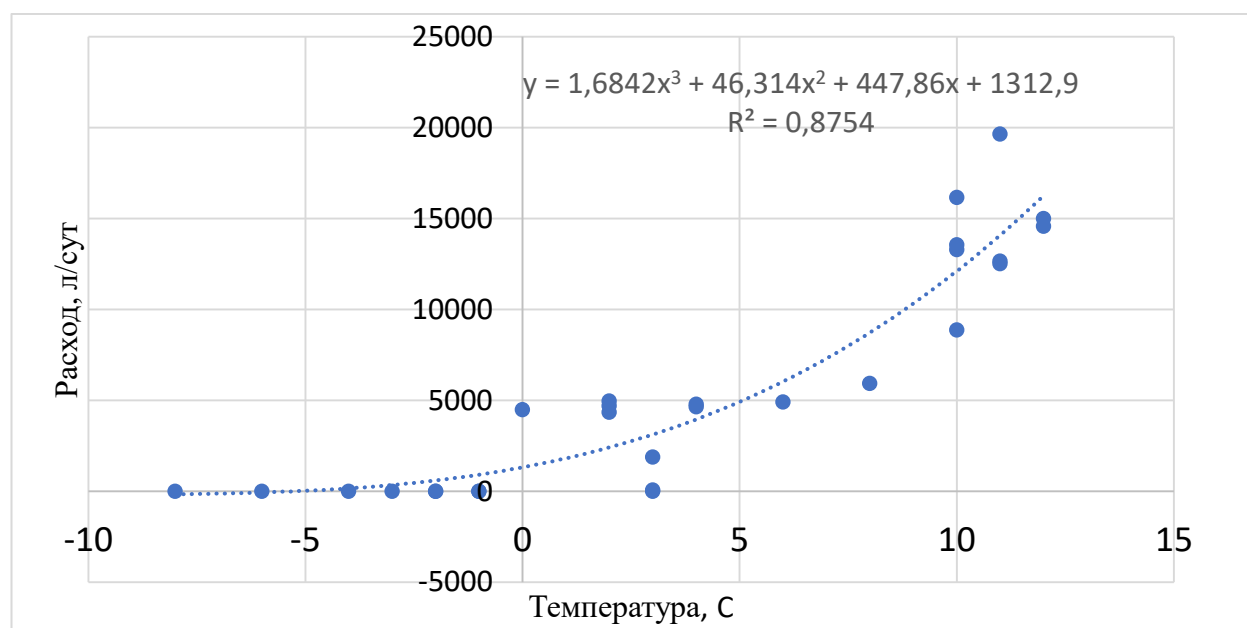


Рисунок 4.5 – Зависимость суммарного ежесуточного расхода дренажного стока от динамики температуры воздуха на участке №5 опытного полигона «Губино»

В целом за период наблюдений 01-19 марта 2026 за расходом дренажного стока следует выделить две волны (периода) роста данного параметра. Первый период 01-04 марта, в течение которого температура воздуха находилась в пределах +2...+3°C и не фиксировалось изменения температуры ни в сторону

увеличения, ни в сторону снижения. Второй период – 09-13 марта, в течение которого температура воздуха ежедневно увеличивалась на 1...2°C. Также следует отметить, что если в первый период расход в течении 4 дней увеличился примерно на 5000 л, то во второй период практически за то же время (5 суток) расход увеличился с 4911 л до 14996 л или почти на 10,0 м³, что при сложившемся температурном режиме соответствует примерному росту расхода 0,02 л/(с*С).

Выводы. Проведенные исследования по определению параметров дренажного стока в весенний период 2026 года на опытном полигоне «Губино» ФГБНУ Всероссийского НИИ мелиорированных земель позволили сделать следующие выводы:

1. Цифровой гидрологический комплекс (ЦГК), обеспечивает надёжное получение и передачу большого массива данных расхода дренажного стока с высокой точностью;
2. По данным цифрового гидрологического комплекса (ЦГК) установлено начало работы дренажной системы, который зафиксировал минимальный расход (70 л) за сутки;
3. Средний гидромодуль дренажного стока для транзитной части (северного склона) территории опытного полигона составляет 0,107 л/(с*га), а максимальный модуль – 0,239 л/(с*га).
4. Осадки за весь период наблюдений (менее 5 мм) не оказали воздействия на динамику дренажного расхода;
5. Выявлена высокая степень корреляции ($R^2 = 0,88$) увеличения расхода дренажного стока от роста температуры воздуха;
6. Обнаружено временное смещение (запаздывание) на 1...2 сут отклика дренажного расхода при фиксировании увеличения температуры;
7. Увеличение температуры воздуха на 1°C в почвенно-климатических условиях Тверской области обеспечивает увеличение гидромодуля дренажного стока в весенний период на 0,02 л/(с*га).

Список использованных источников

1. Дрововозова, Т.И. Анализ качества дренажного стока по коэффициенту предельной загрязнённости / Т.И. Дрововозова, С.А. Манжина // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: сборник научных трудов XVI Международной научно-практической конференции в рамках XXVI Агропромышленного форума юга России и выставки «Интерагромаш» и «Агротехнологии», Ростов-на-Дону, 01–03 марта 2023 года. – Ростов-на-Дону: ДГТУ-ПРИНТ, 2023. – С. 110-112. – DOI 10.23947/interagro.2023.110-112.
2. Калиниченко, Р.В. Инновационный метод оценки дренажного стока на примере полигона Губино ФГБНУ ВНИИМЗ / Р.В. Калиниченко, П.П. Филь, Н.А. Хархардинов // Современные проблемы изучения почвенных и земельных ресурсов: Сборник докладов Пятой

Всероссийской открытой конференции, приуроченная к 100-летию основания Почвенного института имени В.В. Докучаева, Москва, 15–17 декабря 2025 года. – Москва: Почвенный институт, 2026. – С. 307-317.

3. Кирейчева, Л.В. Влияние сельскохозяйственного производства на загрязнение водных объектов / Л.В. Кирейчева, Е.А. Лентяева // Природообустройство. – 2020. – № 5. – С. 18-26. – DOI 10.26897/1997-6011/2020-5-18-27.

4. Кожанов, А.Л. Оценка потенциала дренажного стока в России для использования в целях увлажнения с применением осушительно-увлажнительных систем / А.Л. Кожанов, А.А. Кириленко, Д.В. Грушко // Мелиорация и гидротехника. – 2021. – Т. 11, № 3. – С. 1-18. – DOI 10.31774/2712-9357-2021-11-3-1-18.

5. Пыленок, П.И. Гидрология дренажа. Научно-технологическое обоснование осушительно-увлажнительных систем / П.И. Пыленок. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, 2024. – 172 с. – ISBN 978-5-907464-76-6. – DOI 10.37738/VNIIGIM.2024.54.76.001.

6. Ксенофонов, Б.С. Усовершенствованная методика количественной оценки систем отведения поверхностного стока с селитебных территорий и площадок предприятий / Б.С. Ксенофонов, А.С. Козодаев, Р.А. Таранов [и др.] // Экология и строительство. – 2025. – № 1. – С. 20-27. – DOI 10.35688/2413-8452-2025-01-003.

7. Хархардинов, Н.А. Комплекс применяемых датчиков для создания и калибровки цифровых двойников почв в различных климатических условиях / Н.А. Хархардинов, Р.В. Калиниченко, М.В. Гуляев // Научно-технологический потенциал повышения продуктивности мелиорированных земель: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Тверь, 10 сентября 2025 года. – Тверь: Тверской государственный университет, 2025. – С. 544-549.

References

1. Drovovozova, T.I. Analysis of drainage runoff quality by the coefficient of extreme pollution / T.I. Drovovozova, S.A. Manzhina // The state and prospects of the agro-industrial complex development: proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference within the framework of the XXVI Agro-Industrial Forum of the South of Russia and the exhibition Interagromash and Agrotechnologies, Rostov-on-Don, March 01-03, 2023. – Rostov-on-Don: DSTU-PRINT, 2023. – pp. 110-112. – DOI 10.23947/interagro.2023.110-112.

2. Kalinichenko, R.V. An innovative method for assessing drainage runoff using the Gubino landfill as an example / R.V. Kalinichenko, P.P. Fil, N.A. Kharkhardinov // Modern problems of studying soil and land resources : A collection of reports of the Fifth All-Russian Open Conference dedicated to the 100th anniversary of the founding of the V.V. Dokuchaev Soil Institute, Moscow, December 15-17, 2025. Moscow: Soil Institute, 2026, pp. 307-317.

3. Kireicheva, L.V. The impact of agricultural production on water pollution / L.V. Kireicheva, E.A. Lentyaeva // Environmental management. – 2020. – № 5. – pp. 18-26. – DOI 10.26897/1997-6011/ 2020-5-18-27

4. Kozhanov, A.L. Assessment of the potential of drainage runoff in Russia for use in humidification using dehumidification systems / A.L. Kozhanov, A.A. Kirilenko, D.V. Grushko // Land reclamation and hydraulic engineering. – 2021. – Vol. 11, No. 3. – pp. 1-18. – DOI 10.31774/2712-9357-2021-11-3-1-18.

5. Pylenok, P.I. Hydrology of drainage. Scientific and technological substantiation of dehumidification and humidification systems / P.I. Pylenok. Moscow: A.N. Kostyakov All-

- Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, 2024. - 172 p. ISBN 978-5-907464-76-6. DOI 10.37738/VNIIGIM.2024.54.76.001.
6. Ksenofontov, B.S. Improved methodology for quantitative assessment of surface runoff drainage systems from residential areas and enterprise sites / B.S. Ksenofontov, A.S. Kozodaev, R.A. Taranov [et al.] // Ecology and Construction. – 2025. – No. 1. – pp. 20-27. – DOI 10.35688/2413-8452-2025-01-003.
7. Kharkhardinov, N.A. A complex of sensors used to create and calibrate digital soil twins in various climatic conditions / N.A. Kharkhardinov, R.V. Kalinichenko, M.V. Gulyaev // Scientific and technological potential for increasing productivity of reclaimed lands: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical conference with international participation, Tver, 10 September 2025. Tver: Tver State University, 2025, pp. 544-549.

4.3 НАУЧНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОСУШАЕМЫХ ТОРФЯНЫХ ЗЕМЕЛЬ

В современных условиях интенсификация сельскохозяйственного производства и проблемы обеспечение продовольственной безопасностью населения являются приоритетными направлениями в агропромышленном комплексе. Из-за усиления антропогенного воздействия на природную среду мелиорация земель является основным инструментом, который направлен на улучшение природных условий для увеличения биологической продуктивности сельскохозяйственных земель в любых ландшафтно-климатических условиях.

Специфика южной части Нечерноземной зоны связана с развитием мелиорированных земель, которые подвержены вторичному заболачиванию и переувлажнению, и сопровождается развитием комплекса негативных процессов, при котором почвы теряют свое плодородие. Переувлажнение земель и образование болот определяется суммарным воздействием ряда физико-географических факторов, среди которых основными являются количество атмосферных осадков, температура воздуха, климат, геолого-геоморфологические условия местности, гидрологический режим территории и гидрогеологические условия [4, 5].

Торфяные земли Рязанской области занимают значительную территорию, использование которой возможно при проведении осушительных мелиоративных мероприятий. В естественных условиях использовать переувлажнённые и заболоченные территории без мелиорации практически невозможно. Исследования показывают, что при отсутствии таких мероприятий почвы могут деградировать, вызывать вторичное засоление и становиться переувлажненными в результате подъёма уровней грунтовых вод [2, 3].

Цель исследований заключается в разработке научного подхода к оценке современного состояния переувлажнённых земель Нечернозёмной зоны России.

Основными задачами исследований является проведение натурных мониторинговых обследований осушаемых торфяных земель Рязанской области, оценка их современного экологического состояния и разработка комплекса мелиоративных мероприятий для снижения возможных негативных последствий антропогенного воздействия.

Для решения поставленной проблемы был проведен анализ и детальное ознакомление с многолетними данными по изучению состояния осушаемых торфяных земель Рязанской области.

Методология исследований включала в себя разработку структуры комплексного экологического мониторинга осушаемых земель, состава приоритетных почвенных показателей и проведение мониторинговых обследований длительно используемых торфяных почв и сработанных торфяников с целью дальнейшей перспективы использования их в сельскохозяйственном производстве. Комплексный экологический мониторинг осушаемых земель отличается от традиционных наблюдений за отдельными природными и природно-мелиоративными процессами своей многоаспектностью по задачам и перечню приоритетных контролируемых показателей. Основная цель такого мониторинга заключается в комплексной оценке изменений, которые возникают при мелиоративном воздействии. Структура комплексного экологического мониторинга осушаемых земель показана в таблице 4.4 [1, 6].

Приоритетные контролируемые показатели состояния почв позволяют получить не только статическую характеристику почв на момент их обследования, но и дать динамику состояния почвенных процессов. Для выявления развития деградационных процессов на осушаемых землях необходим контроль следующих *единичных показателей*:

- содержание гумуса в пахотном слое почв;
- коэффициент водопрочности почв;
- степень насыщенности почв основаниями;
- содержание тяжёлых металлов в почвах;
- уровень грунтовых вод;
- содержание в грунтовых водах двухвалентного железа;
- сроки отвода из пахотного слоя гравитационной влаги;
- урожайность и качество сельскохозяйственной продукции.

Оценка общего эколого-мелиоративного состояния осушаемых почв может проводиться с использованием *комплексных и интегральных*

показателей, таких как уровень плодородия почв, техническое состояние поверхности осушаемого поля, водный режим почв, состояние осушительной системы, геоэкологическое состояние почвенного покрова, количество и качество сельскохозяйственной продукции, выращиваемой на территории осушительной системы.

Таблица 4.4 - Структура геоэкологического мониторинга осушаемых земель

Задачи мониторинга	Объекты мониторинга	Приоритетные контролируемые показатели
Раннее обнаружение неблагоприятных изменений состояния заболоченных почв различных ландшафтов	Мелиоративные группы почв различных ландшафтов, осушаемые минеральные почвы, грунтовые, поверхностные и дренажные воды, сельскохозяйственные культуры и инженерные элементы гидромелиоративной системы	Морфология почв, почвенные агрохимические показатели: гумус, кислотность, сумма обменных оснований, водно-физические свойства, зольность, содержание биогенных элементов, тяжёлые металлы, радионуклиды, пестициды, уровень почвенно-грунтовых вод, величина дренажного стока
Раннее обнаружение неблагоприятных изменений состояния почв в процессе сельскохозяйственного использования	Почвы в зоне концентрации промышленных и сельскохозяйственных предприятий, дорог в районе длительного и интенсивного сельскохозяйственного использования, грунтовые, поверхностные и дренажные воды, сельскохозяйственные культуры и инженерные элементы гидромелиоративной системы	Влажность почв, морфология почв, сработка торфа, изменение агрегатного состояния почв, содержание биогенных элементов, зольность, сумма поглощённых оснований, тяжёлые металлы, кислотность почв, количество и качество гумуса, радионуклиды, пестициды, уровень почвенно-грунтовых вод, объём и качество дренажного стока, изменение продуктивности агроценоза

В задачи мониторинговых обследований на территории осушительной систем в Рязанской области входило детальное ознакомление с многолетними данными и составление маршрута обследований на типовом участке. Предметом исследований явились единичные, комплексные и интегральные показатели, включающие почвенное плодородие торфяной почвы и урожайность сельскохозяйственных культур на полигоне Рязанской области. Цель геоэкологического мониторинга заключалась в получении необходимой информации при выполнении контроля состояния почв и оценки неблагоприятных процессов на изучаемой территории для разработки и принятия оперативных мероприятий по улучшению экологической ситуации [7].

В составе мониторинговых обследований и оценки состояния переувлажнённых и торфяных земель Рязанской области были использованы следующие блоки:

- блок наблюдений за агрохимическими показателями торфяных почв;
- блок наблюдений за водно-физическими показателями (влажность почв, коэффициент фильтрации и уровень грунтовых вод);
- блок оценки ежегодной сработки торфа;
- блок оценки мощности и зольности торфа в пахотном слое.

Контроль за мелиоративным состоянием осушаемых земель необходим для решения таких задач, как оперативное выявление осушаемых земель с невысокой продуктивностью агроценоза, диагностика причин неудовлетворительного состояния земель, эффективность функционирования осушительной системы. В исследованиях использовался комплексный геоэкологический подход сбора, учёта и диагностики информации о почвенных показателях, деградиационных процессах и информации о мелиорируемых землях (рисунок 4.6).



Рисунок 4.6 - Методика проведения мониторинговых обследований

Осушительная система располагается на площади в 40 га, с конца 1990 годов занята луговыми травами и в сельскохозяйственном производстве не используется.

При проведении исследований использовалась общепринятая методика, где основным методом исследований явились натурные полевые обследования, анализы и расчёты методом конверта на типичных участках 10x10 в трёхкратной повторности. При проведении обследований выполнялись замеры уровней грунтовых вод, влажности почв в вегетационный период, а также почвенные агрофизические и агрохимические показатели (водоотдача, порозность, плотность, отношение органического вещества к минеральному торфу, зольность почв, гидролитическая кислотность, рН солевой вытяжки, содержание гумуса, подвижный фосфор и обменный калий, биологическая активность почв, урожайность луговых трав, их ботанический состав и т.д.).

При ведении геоэкологического мониторинга осушаемых земель следует отметить наиболее важные аспекты его организации и ведения, к которым можно отнести следующее:

- рациональное размещение точек отбора проб почв и наблюдательной сети скважин;
- обоснование периодичности их наблюдений;
- обеспечение наблюдений приборным инструментарием и методами оперативного контроля инженерных элементов осушительной системы;
- создание ГИС-системы и оперативной базы данных для автоматизации сбора, хранения, передачи и обработки геоэкологической информации об объектах наблюдений.

Результаты полевых обследований по приоритетным показателям (влажность почв) на осушительной системе Рязанской области обрабатывались с применением методов статистической обработки по программе «Statistika-2010». Было установлено, что оптимальная влажность в корнеобитаемом слое создаётся при уровне грунтовых вод в среднем 60...80 см от поверхности земли за вегетацию для луговых трав.

Проведено описание почвенного профиля на участке мелиоративного объекта Тинки-II, засеянного многолетними травами. Торфяной горизонт подразделялся на подгоризонты в зависимости от ботанического состава растений и степени его разложения.

Изучение торфяной почвы на мелиоративном объекте Тинки-II проводилось по данным полевых обследований открытого шурфа. Сработанная болотная торфяная почва изучаемого мелиоративного объекта представлена несколькими горизонтами следующим профилем:

– горизонт A_o (0...8 см) слой лесной подстилки, не затронутый разложением поверхностный слой моховой растительности, зольность торфа доходит до 8%, степень разложения составляет 42%;

– горизонт A_T (8...23 см) коричневого цвета, торф древесно-травянистый, зольность составляет 12%, степень разложения более 50%;

– горизонт A_{T2} (23...35 см) темно-коричневого цвета, торф травянисто-древесный, влажность средняя, зольность составляет 18%, степень разложения 25%;

– горизонт A_{T3} (35...50 см) коричневого цвета, торф осоково-древесный, влажный, структура мелкокомковатая, поперечные ржавые пятна выпавшего в осадок Fe^{3+} , зольность 14%, степень разложения составляет 23%;

– горизонт A_{T4} (50...86 см) темно-коричневого цвета, мокрый, структура комковатая, зольность составляет 13%;

– горизонт B_g (86...100 см) песок желтый, среднезернистый, насыщен водой;

– уровень грунтовых вод находится на глубине 127 см.

Почвенный покров изучаемого участка представлен сработанной торфяной почвой с признаками деградации в виде вторичного заболачивания.

Проведённые исследования показали, что за длительный период (более 30 лет) после прекращения сельскохозяйственного использования на изучаемой территории произошли существенные изменения и в определенные периоды проявляются признаки деградации почвы в виде подъема уровней грунтовых вод, вторичного заболачивания и т.д. Осушительная система, включающая открытый магистральный канал и закрытый гончарный дренаж, постепенно начинает деградировать, что проявляется в зарастании каналов древесно-кустарниковой растительностью, заиливании и т.д. Особое внимание необходимо уделять процессам, которые изначально формируются под влиянием естественных условий (интенсивность выпадения атмосферных осадков, гранулометрический и минералогический состав почв, агрофизические и агрономические показатели почв, микробиологическая активность почв, кислотно-щелочной и окислительно-восстановительный режим, дренированность территории и т.д.).

За длительное время использования торфяной почвы произошли следующие изменения геоэкологических процессов:

– произошла сработка торфа, сформировались участки высачивания и вымочки, которые свидетельствуют о процессах вторичного заболачивания;

– увеличилась зольность и на поверхность местами вышли подстилающие залежь пески. Создалась пестрота почвенного покрова

в пределах одного участка: средняя глубина залегания торфа составила в среднем 41 см, минимальное значение – 26 см и максимальное – 80 см. С 1952 года поверхность торфяной залежи опустилась на 1,9 м.

Сработка торфа показала его величину $h_c = 54$ см, то есть в год сработка торфа составила 0,77 см в год, такой темп разрушения торфяного слоя невысокий, на наш взгляд, вследствие поддержания устойчивого состояния почвы двусторонним регулированием водного режима (орошение до 2005 года и шлюзование до 2020 г.). Объёмная масса верхней части профиля выросла с 0,20 до 0,58 г/см³ за счет минерализации и уплотнения верхнего слоя. Средняя зольность торфа на мелиоративном объекте составила в слое 0...5 см 22,1%.

Порозность почв в слое 0...20 см составила 50% объема. Для понимания почвенных процессов, таких как движение воды в почве, проникновение в почву корней, необходимо оценить размеры почвенных пор и их конфигурацию. Корневые волоски могут проникать лишь в поры диаметром крупнее 0,01 мм, мелкие корешки – в поры крупнее 0,1 мм, простейшие и водоросли живут в порах диаметром крупнее 0,02 мм, бактерии – 0,001 мм. Так, по Качинскому, порозность почвы на всех исследуемых мелиоративных объектах характеризуется как неудовлетворительная для пахотного слоя.

Долговечность (t) метрового слоя торфяных почв показала $t = 170$ лет. Учитывая, что длительное время (около 30 лет) на мелиоративных системах не проводился ремонт и не проводилась их реконструкция, в настоящее время земли находятся в заброшенном состоянии, а сельскохозяйственная деятельность на территориях не ведется, величина долговечности торфяных почв на объектах при этом не уменьшится. Мощность торфяного слоя, определенная методом зондирования, в 1955 г. составляла 156 см, в 2000 г. – 138 см, в 2024 г. – 115 см. Коэффициент фильтрации за счет уплотнения верхних слоев торфа уменьшился более чем в 20 раз и составил до 0,5 м/сут. Такие значения характерны для сильно разложившегося торфа в соответствие с классификацией М.С. Агапиной. Классификационная градация по Ф.Р. Зайдельману характеризуется как высокая [4].

В настоящее время почвы на исследуемых участках обладают высокой способностью поглощать очень большое количество воды: полная влагоемкость (ПП), определенная методом заливных площадок, достигла 270% от абсолютно сухого веса. Главным фактором убыли органического вещества становится их минерализация. Изменение запасов органического вещества осушенных торфяных почв представлено в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Изменение запасов органического вещества осушенных торфяных почв [8]

Мелиоративный объект	Мощность торфяной залежи, см		Убыль мощности торфа в год, см	Масса органического вещества, т/га		
	1960 г.	2024 г.		1960 г.	2024 г.	Средняя годовая убыль, т/га
Тинки-II	151,6	119,3	0,6	2843	2797	2,4

Измерение влажности почвы показало, что на данном участке W_p опускалась ниже 75% НВ в сухие и жаркие периоды вегетации, в среднем по годам исследований на всех объектах до 6 раз в зависимости от тепловлагообеспеченности года. Уровень грунтовых вод при этом опускался ниже 126 см. После дождей почва оставалась влажной длительное время и дефицита влаги не наблюдалось.

Основная цель проведения комплексного геоэкологического мониторинга осушаемых земель Рязанской области заключается в получении достоверной информации о состоянии природных и инженерных компонентов для принятия решения по управлению функционированием мелиоративной системы. Это достигается путём разработки комплекса мелиоративных мероприятий, который позволит улучшить водный режим, снизить негативные деградационные процессы и повысить урожайность сельскохозяйственных культур. В состав этих мероприятий следует включать агромелиоративные и агротехнические мероприятия, которые способны отводить поверхностный, внутрипочвенный и грунтовый потоки на осушаемой территории [9]. Основные методы и способы осушения показаны в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Методы и способы осушения территории в зависимости от типа водного питания

№ п/п	Тип водного питания	Методы осушения	Способы осушения
1.	Атмосферный тип водного питания	Ускорение отвода поверхностного и внутрипочвенного стока, повышение инфильтрационной и аккумулирующей способности	Агромелиоративные мероприятия (рыхление, щелевание, кротование), закрытые и открытые собиратели и т.д.
2.	Грунтовый тип водного питания, включая приток грунтовых вод с водосбора и фильтрацию из реки или водохранилищ	Понижение уровня грунтовых вод, для ускорения внутрипочвенного стока, перехват потока грунтовых вод со стороны водосборной территории, перехват фильтрационных вод и т.д.	Агротехнические мероприятия: осушители, систематический дренаж, ограждающий дренаж, ловчие каналы, ограждающий береговой дренаж и т.д.

Предложенный комплекс природоохранных (агромелиоративных и агротехнических) мероприятий позволит улучшить водный режим переувлажнённых земель и обеспечить эколого-мелиоративное состояние осушенной территории для выращивания сельскохозяйственных культур.

Выводы. Разработана общая структура комплексного мониторинга осушаемых почв и установлен комплекс контролируемых приоритетных показателей в системе мониторинга. Предложено использовать комплексный экологический подход как основной инструмент для диагностики и оценки состояния почв на осушаемых территориях. Выявлено, что осушаемая торфяная почва изучаемой осушительной системы в Рязанской области претерпевает негативные последствия вследствие прекращения ухода за основными элементами осушительной системы. Отмечается ряд негативных процессов таких как зарастание дна и откосов древесно-кустарниковой растительностью, формирование которых ведет к заиливанию мелиоративной осушительной системы и, как следствие, к деградации земель. Разработан состав мелиоративных мероприятий, который позволит повысить урожайность сельскохозяйственных культур и улучшить экологическое состояние осушенных земель.

Список использованных источников

1. Болатбекова К.С., Гхош Судансу Раджан. Физико-химические свойства и состав гумуса осушаемых дерново-подзолистых глееватых почв на покровных суглинках // Тр. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. – 1992. – С. 89-93.
2. Временные рекомендации по реконструкции осушительных систем в Нечерноземной зоне РСФСР. – Л.: СевНИИГиМ. – 1989. – 53 с.
3. Зайдельман Ф.Р. Естественное и антропогенное переувлажнение почв С.-Петербург: Гидрометеиздат. –1992. – 288 с.
4. Захарова О.А. Проблемы восстановления осушительных систем в Рязанской Мещере // Современное состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса Российской Федерации: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора Александра Алексеевича Сорокина, 29 января 2025 года. Рязань: Издательство Рязанского государственного агротехнологического университета. – 2025. – С. 193-196.
5. Карпенко Н.П., Евсенкин К.Н., Захарова О.А., Мусаев Ф.А. Современное состояние сработанных торфяных почв Рязанской Мещеры // Использование и охрана природных ресурсов России. – 2019. – № 1. – С. 33-38.
6. Карпенко Н.П., Манукьян Д.А. Теория и методология ведения мониторинга техноприродных систем. – М.: МГУП. – 2009. – 307 с.
7. Крештанова В.Н. Генетические особенности и оценка плодородия выработанных торфяников России // Повышение эффективности мелиорации сельскохозяйственных земель: Доклады международной научно-практической конференции. – Минск. 2005. – С. 178-179.

8. Маслов Б.С. Мелиорация торфяных болот. – Томск: Изд. Томского госпедуниверситета, 2006. – 195 с.
9. Мелиорация земель. – Учебное пособие для вузов / Пчёлкин В.В., Каблуков О.В. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2021. – 126 с.

References

1. Bolatbekova K.S., Ghosh Sudansu Rajan. Physico-chemical properties and composition of humus of drained sod-podzolic gley soils on cover loams // Tr. V.V. Dokuchaev Soil Institute. – 1992. – pp. 89-93.
2. Temporary recommendations for the reconstruction of drainage systems in the Non-Chernozem zone of the RSFSR. – L.: SevNIIGiM. – 1989. - 53 p.
3. Seidelman F.R. Natural and anthropogenic soil waterlogging St. Petersburg: Gidrometeoizdat. -1992. – 288 p.
4. Zakharova O.A. Problems of restoration of drainage systems in the Ryazan Meshchera // Current state and prospects of development of the agro-industrial complex of the Russian Federation: Proceedings of the International scientific and practical Conference dedicated to the memory of Doctor of Technical Sciences, Professor Alexander Alekseevich Sorokin, January 29, 2025. Ryazan: Publishing House of the Ryazan State Agrotechnological University. - 2025. – pp. 193-196.
5. Karpenko N.P., Evsenkin K.N., Zakharova O.A., Musaev F.A. The current state of the worked peat soils of the Ryazan Meshchera // Use and protection of natural resources of Russia. – 2019. – No. 1. – P. 33-38.
6. Karpenko N. P., Manukyan D. A. Theory and methodology of monitoring anthropogenic systems. – Moscow: MGUP. – 2009. – 307 p.
7. Kreshtanova V.N. Genetic features and fertility assessment of exhausted peat bogs in Russia // Improving the efficiency of agricultural land reclamation: Reports of the international scientific and practical conference. – Minsk. 2005. pp. 178-179.
8. Maslov B.S. Land reclamation of peat bogs. Tomsk: Publishing House of Tomsk State University, 2006. 195 p.
9. Land reclamation. – Textbook for universities / Pchelkin V.V., Kablukov O.V. M.: Russian State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2021. – 126 p.

4.4 ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОСУШЕНИЯ БОЛОТ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ В ПЕРИОД ПРОВЕДЕНИЯ МАСШТАБНОЙ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ

Начало периода широкого развития мелиорации земель Нечерноземной зоны относится к 1966 году, когда после майского Пленуме ЦК КПСС 1966 года было принято постановление Совмина РСФСР от 13.08.1966 N 675 "О широком развитии мелиорации земель для получения высоких и устойчивых урожаев зерновых и других сельскохозяйственных культур".

Постановлением предусматривалось осуществить в РСФСР в 1966-1975 гг. осушение и сельскохозяйственное освоение 6,25...6,45 млн. гектаров земель и значительно повысить урожайность сельскохозяйственных культур,

чтобы обеспечить устойчивый рост производства зерна, льна, картофеля, овощей, кормов и другой сельскохозяйственной продукции на осушенных землях. Для реализации постановления было осуществлено системное развитие органов управления, проектирования, строительства и эксплуатации мелиоративных систем, научного и кадрового обеспечения отрасли. В РСФСР это позволило в период с 1966 по 1990 год вводить в сельскохозяйственный оборот только осушаемых земель более 140 тыс. га ежегодно [3, 6].

В 1970-х годах в рамках Совета экономической взаимопомощи (СЭВ) проводились исследования, связанные с влиянием мелиорации на природу. Этот период характеризуется ростом внимания к экологическим вопросам, как в мире, так и в странах социалистического содружества. Одним из ключевых событий того времени стало международное совещание по вопросам охраны окружающей среды, которое состоялось в 1976 году в Секретариате СЭВ. Его организаторами выступили Институт экономики мировой социалистической системы АН СССР и Комитет по научно-техническому сотрудничеству СЭВ. На совещании обсуждались вопросы государственной политики по охране окружающей среды и использованию природных ресурсов в странах-членах СЭВ [6, 14].

Это отчасти объяснялось тем, что возникали не только технические проблемы, связанные с качеством строительства и эксплуатации мелиоративной сети и сооружений, но также и проблемы учёта долгосрочных экологических последствий. Уже с конца 1960-х годов в мелиоративных проектах стали предусматривать учёт экологических аспектов. Это было связано с тем, что на этапе интенсивного мелиоративного воздействия на окружающую природную среду возрастали косвенные последствия таких работ, которые сложно было предвидеть и оценить из-за недостаточных научных обоснований [2, 7].

В это время нарастало экологическое движение, имеющее в целом позитивное значение, но одновременно формировалось негативное восприятие мелиоративных работ в СССР. При этом часто во всех экологических проблемах обвинялась мелиорация земель. Не учитывалось общее антропогенное давление на природу в условиях индустриального экономического уклада и изменения климата планеты. К примеру, осушение болот в Полесье (на юге Белоруссии и севере Украины) в 1960–1980-х годах не всегда обосновано считали основной причиной исчезновения малых рек и озёр, снижения уровня грунтовых вод, торфяных пожаров и даже изменения климата в регионе. В Центральной России складывалось примерно такое же общественное мнение в связи с мелиорацией Мещерского Полесья, раскинувшегося на землях Московской, Рязанской и Владимирской областей.

Для изучения влияния мелиорации болот на окружающую природную среду (ОПС) и объективной оценки результатов такого воздействия Главком науки Минводхоза СССР (Б.С. Маслов) в 1976 году были организованы экспедиционные исследования в Мещерской низменности и Смоленской области под руководством заведующего отделом осушения ВНИИГиМ, к.с.-х.н. Е.П. Панова. В центральной Мещере в качестве объекта исследования совместно с проектным институтом Рязаньгипроводхоз была выбрана гидромелиоративная система (ГМС) Вожа, построенная в 1966 году. Площадь осушения составляла 620 га, площадь болота – 2400 га, площадь водосбора – 115,55 км². Около 100 га было осушено закрытым гончарным дренажем с глубиной заложения 1,3 м и междренним расстоянием 20...30 м. Более 500 га осушалось открытыми каналами глубиной 1,2 м, проложенным через 100 м.

Болото низинного типа с торфом древесно-осокового и травяного происхождения средней мощностью 0,5...1,0 м и максимальной до 2,0 м. На осушенной части представлены следующие разности торфяно-болотных почв: перегнойно-глеевые, торфянисто-глеевые, торфянисто-перегнойно-глеевые, торфяно-глеевые и торфяные (маломощные 0,5...1,0 м, среднемощные 1,0...2,0 м, мощные более 2,0 м). Основной вид сельскохозяйственного использования - под однолетними и многолетними травами и под пастбищем. Подробная информация о стационаре содержится в публикациях [8, 9].

Поскольку осушением была охвачена только часть болотного массива, а другая его часть оставалась в естественном состоянии, открывалась возможность сравнительного изучения всех процессов при осушении в сравнении с естественными условиями.

Для проведения комплексных исследований было оборудовано четыре водомерных поста, оснащенных самописцами уровня воды. В том числе в истоках трёх проводящих каналов на границе осушения и естественного болота и одного в замыкающем створе канализованного русла р. Вожа, являющейся водоприемником осушительной системы. Для наблюдения за уровнем грунтовых вод были построены три створа скважин с высотной и плановой привязкой, пересекающих осушенное болото от северного до южного водораздела и один створ на неосушенной части водосбора. Были заложены три лизиметрические площадки, одна из которых на осушительной системе, одна на водоразделе, и одна в зоне влияния осушительной системы. Всего было установлено 16 лизиметров конструкции ВНИИГиМ глубиной от 1,5 до 2,0 м, изготовленных в Опытно-конструкторском бюро ВНИИГиМ в г. Дмитров Московской области. Было оборудовано три испарительных

площадки с испарителями ГГИ-500-50 (на осушенной торфяной почве, на минеральной почве под травами в зоне влияния ГМС и на минеральной почве, прилегающей к неосушенной части болота). На неосушенном болоте наблюдение за испарением вели с помощью болотных испарителей ГГИ-Б-1000 в пятикратной повторности. Одновременно были оборудованы четыре метеопункта с почвенными дождемерами на водобалансовых площадках и осадкомером Третьякова на базе экспедиции в д. Белое Клепиковского района Рязанской области. На специальных типичных площадках велись почвенные, гидрохимические, ботанические и другие исследования. Параллельно велись ландшафтные исследования экспедицией МГУ им. Ломоносова под руководством К.Н. Дьяконова [1].

Одновременно с проведением экспериментальных исследований выполнялся анализ ранее полученных результатов исследований на мелиоративных системах Кальское, Тинки-II, Никитское болото, Макеевский мыс и др. [3, 9].

Исследования выполнены по следующим направлениям:

- Изменение торфяных почв под влиянием осушения и сельскохозяйственного использования;
- Влияние осушения на водный режим болот и прилегающих территорий;
- Объем и качество дренажных вод.
- Изменение продуктивности агроландшафтов под действием осушения.

Было установлено, что понижение уровня грунтовых вод (УГВ), вызванное осушением низинных болот Мещерской низменности, зависит от гидрогеологических условий, глубины регулирующей сети, междренного расстояния и других конструктивных особенностей ГМС. Для систем сельскохозяйственного назначения это понижение в летне-осенний период изменяется с учетом естественного режима уровня от 0,4 до 1 м и не превышает 1,2 м. *Эти значения являются предельными показателями понижения уровня грунтовых вод на границе ГМС, т.е. в нулевом сечении зоны внешнего влияния.*

Осушение болот приводит к значительным изменениям в структуре и распределении стока, что зависит от множества факторов: типа болота, климатических условий, интенсивности осушения, последующего использования территории и других условий (рисунок 4.7). В первые годы после осушения наблюдается увеличение годового стока за счёт сработки запасов воды торфяной залежи. Происходит выравнивание колебаний стока

в течение года, при этом минимальные расходы воды в меженный период существенно (до 1,5 раз) увеличиваются [3,4].



Рисунок 4.7- Весеннее половодье на р. Вожа - водоприемнике ГМС Вожа

Среднемесячный дренажный сток ГМС Вожа в период наблюдений изменялся от 0,67 до 0,93 м³/с, модуль стока от 5,78 до 8,1 л/с/км² (таблица 4.7). Наибольший слой стока 148 мм отмечался в среднезасушливом периоде май-сентябрь 1979 г. Это связано с выпадением около 100 мм осадков за трое суток в период с 30 августа по 1 сентября.

Таблица 4.7 - Дренажный сток ГМС Вожа

Периоды наблюдения, март-сентябрь	Атмосферные осадки (III-IX)		УВ в замыкающем створе, см над «0» ВП		Расход воды, средне-месячный	Модуль стока,	Слой стока, мм	Коэффициент стока
	мм	P, %	макс./дата	ср.				
1977	390	31	196 31.03	75	0,67	5,78	107	0,274
1978	463	9	194 03.04	86	0,73	6,32	114	0,246
1979	359	51	195 08.04	91	0,93	8,1	148	0,412

Примечание: P- обеспеченность осадков за период май -сентябрь

В дренажных водах по сравнению с болотными возрастает минерализация с 140...160 мг/л до до 150...200 мг/л. Дренажные воды относятся к гидрокарбонатно-сульфатно-щелочному типу и являются суперпресными.

В результате осушения и длительного сельскохозяйственного использования торфяная залежь трансформируется в торфяно-болотную

почву, что сопровождается осадкой и сработкой торфа, имеющей нелинейный характер во времени, его уплотнением, изменением водопроницаемости и других водно-физических свойств.

Математическая модель скорости осадки торфа описывается уравнением (4.1) [5]:

$$\frac{dH}{d\tau} = \lambda hN, \quad (4.1)$$

где: H – мощность торфа; h – глубина осушительной сети; τ – длительность осушения; λ – коэффициент, зависящий от физических свойств торфа (плотность, степень разложения, зольности и др.).

Результаты мониторинга на осушенном болоте Кальское показали, что размер осадки поверхности торфа за счет уплотнения и минерализации торфа в первые годы осушения достигает максимального значения (до 9,6 см в год), в последующие годы происходит ее равномерное уменьшение. Суммарная осадка торфа за 39 лет при мелком осушении (до 0,8 м) составила 35 см, при среднем осушении (1...1,2 м) – 53 см, при глубоком осушении (более 1,5) – 83 см. Потеря массы торфа при этом достигает соответственно 12, 20 и более 30 га/га в год.

Экспериментальные данные позволили установить размер и динамику осадки и сработки торфа на мелиоративном стационаре Кальское, которые описываются степенной зависимостью (4.2).

$$S = 9,928\tau^{-0.51} \quad (4.2)$$

Эти данные по осадке и минерализации торфа на ГМС Кальское в последующем были использованы для разработки способа определения потерь массы торфа и органического вещества, а также эмиссии диоксида углерода в зависимости от интенсивности осушения [10].

На основе экспериментальных исследований осадки и сработки торфа в 1970-х годах на осушаемом болоте Вожа в центральной части Мещеры было установлено, что их суммарное значение зависит от способа осушения, вида сельскохозяйственного использования, а также от увлажненности теплого периода года (таблица 4.8).

Изменения водного режима болота в результате осушения приводят к формированию зоны влияния ГМС на прилегающие территории. Так, зона влияния Вожской осушительной системы на уровень грунтовых вод прилегающих земель составила 1,0...1,2 км, при понижении на границе потока (в нулевом сечении) 0,5 м, на удаленной границе зоны влияния 0,1 м и на удалении 0,2 км от ГМС – 0,45 м.

Таблица 4.8 - Осадка торфа на осушительной системе Вожа, см в год

Способ осушения	УГВ, м	Вид торфа	С.х. использ.	Осадка торфа, см/год			
				1977г.	1978г.	1979г.	Среднее
Открытые каналы	0,4-07	средне-мощный	естеств. растительность	1,1	0,6	0,7	0,80
Открытые каналы	0,4-07	мало-мощный	естеств. растительность	1,2	0,6	0,8	0,87
Закрытый дренаж	0,5-0,8	мало-мощный	однолетние травы	1,4	0,8	1,0	1,07
Закрытый дренаж	0,5-0,8	средне-мощный	многолетние травы	1,3	1,0	1,1	1,13

Эти результаты и расчеты с учетом гидрогеологических условий Мещерской низменности позволяют заключить, что влияние осушительных систем сельскохозяйственного назначения на УГВ прилегающих территорий в условиях Мещерской низменности несколько меньше приводимых в литературе по другим регионам и не превышает 0,5 км для междуречно-зандровых равнин, 1,5 км для долинно-зандровых и зандрово-озерных низменных равнин и 3 км для надпойменных террас р. Оки.

Полученные результаты натурных исследований влияния ГМС «Вожа» на прилегающие земли и анализ закономерностей формирования водного режима почв в зоне влияния ГМС позволили разработать методику экспериментального определения и новый способ прогнозной оценки дальности и степени влияния ГМС на водный режим почв прилегающих территорий, в которых в отличие от ближайшего аналога (И.В. Минаев) вместо высоты максимального капиллярного поднятия используется критическая глубина грунтовых вод (H_k), как максимальная глубина при которой прекращается поток влаги от грунтовых вод в зону аэрации [12].

Для условий Мещерской низменности значение H_k рекомендовано принимать в пределах 1,8...2,0 м (меньшее значение для влажных, большее для засушливых лет), а в общем случае мы предложили определять ее по формуле (4.3):

$$H_k = H_{max} + a_{кор}, \quad (4.3)$$

где: H_{max} - максимальная высота капиллярного поднятия, м; $a_{кор}$ - глубина проникновения корней растений, м.

Дальность и степень влияния осушительной системы на грунтовые воды прилегающих агроландшафтов и вместе с тем на их продуктивность (лесов и лугов) зависит от гидрогеологических и геоморфологических условий (рисунок 4.8).

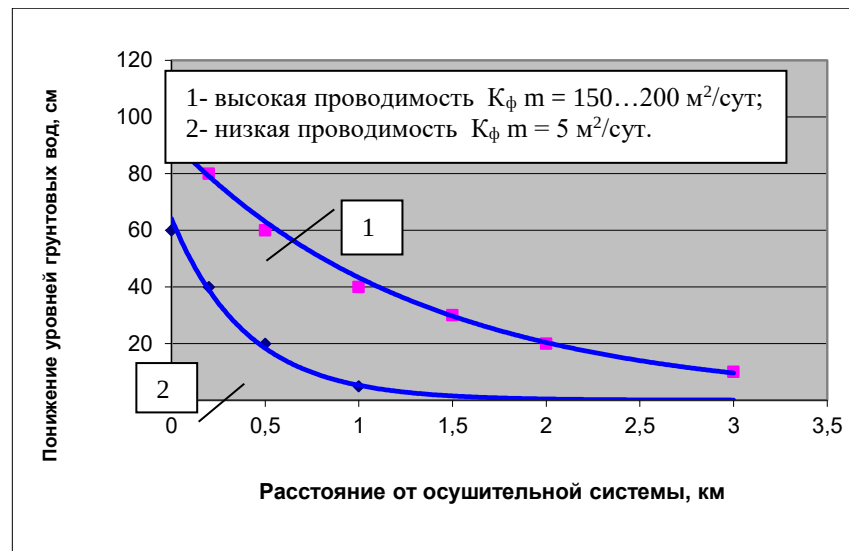


Рисунок 4.8 - Понижение уровней грунтовых вод на прилегающей к болоту территории на различном расстоянии от осушительной системы

Более сильное влияние (4 км и более) оказывают осушительные системы для торфодобычи, меньшее (до 0,7 км) – лесоосушительные (рисунок 4.9).

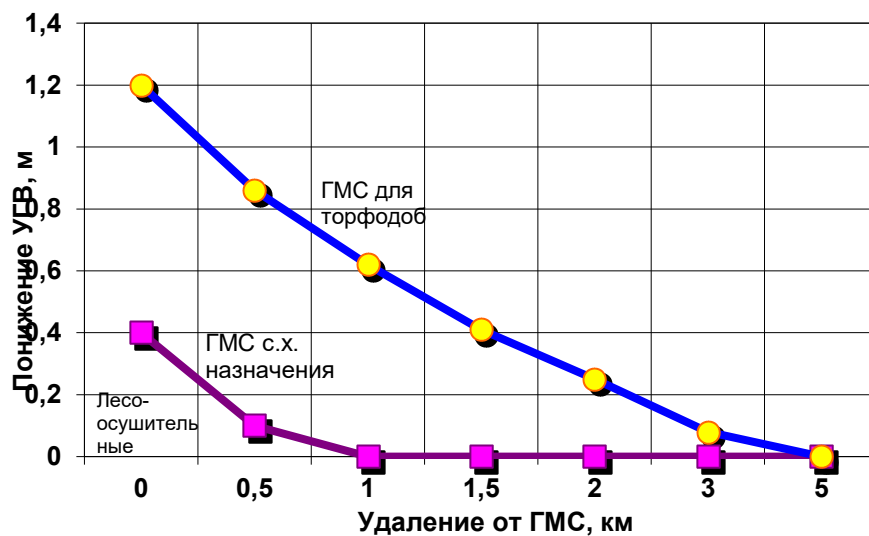


Рисунок 4.9 - Влияние различных типов осушительных систем на понижение уровня грунтовых вод прилегающих земель

В зоне влияния осушительной системы (L), согласно нашей методике, следует выделять две подзоны: уменьшения влажности почв (l_1) и отсутствия влияния на влажность почв (l_2). В первой (до осушения здесь $H < H_k$) существенное значение в водном балансе зоны аэрации и почвообразовательном процессе играет влагообмен между грунтовыми водами и почвой и его интенсивность. В пределах этой подзоны выделяется приболотный пояс или пояс улучшения водного режима почв (l_0) с четким

положительным влиянием осушения, поскольку здесь до осушения уровень грунтовых вод залегает близко у поверхности земли ($H < H_n$) и сформирован полуболотный тип агроландшафта. На остальной вышерасположенной части подзоны шириной ($l_1 - l_0$) выделяется пояс ухудшения водного режима почв, в котором до осушения грунтовые воды залегает на оптимальной глубине ($H_n \leq H < H_k$) и понижение их под действием осушения изменяет водный режим почв в сторону ухудшения. Негативные последствия будут проявляться здесь в условиях недостаточного естественного увлажнения атмосферными осадками и, разумеется, для естественных, сформировавшихся до осушения, фитоценозов.

Во второй подзоне (l_2) влагообмен определяется условием ($H \geq H_k$), приток в почву от грунтовых вод практически отсутствует, преобладает нисходящее движение гравитационной влаги, и, следовательно, понижение уровня грунтовых вод под действием осушения не оказывает существенного влияния на влажность корнеобитаемого слоя почвы и продуктивность агроландшафта.

Разработанная методика позволяет на стадии технического проекта прогнозировать воздействие осушительной системы на влажность почв прилегающих агроландшафтов (определять пространственные границы подзоны изменения влажности почв) и проектировать необходимые природоохранные мероприятия. С ее использованием для характерных катен стационара «Вожа» были определены линейные размеры подзон, что позволило установить их пространственные границы.

Влияние осушения на водообмен грунтовых вод с зоной аэрации зависит от исходной глубины залегания грунтовых вод прилегающих земель, размера их понижения под действием осушения и метеорологических условий (таблица 4.9). сопровождается прямо пропорциональным его уменьшением в зависимости от размера понижения уровня грунтовых вод, четко прослеживаемым в средние и засушливые годы. В засушливые периоды размер абсолютного уменьшения наибольший.

Изменение суммарного испарения, как показывает анализ, определяется следующими основными причинами:

- понижением под действием осушения уровня грунтовых вод и, как следствие, уменьшением влажности почвы и притока влаги к испаряющей поверхности;
- возможным изменением растительного покрова и, следовательно, транспирационной способности растений;
- изменением микроклимата в зоне влияния ГМС, а также теплового и радиационного баланса деятельной поверхности.

Таблица 4.9 - Изменение суммарного водообмена почвы с грунтовыми водами (мм) при понижении уровня грунтовых вод

УГВ до осушения, м	Увлажненность летнего периода	Понижение грунтовых вод, м			
		0,2 ...0,3	0,5	0,7 ...0,8	1,0
0,5	влажный	40	45	43	25
	средний	85	97	130	135
	засушливый	100	140	175	205
0,8	влажный	5	3	-15	-
	средний	12	45	50	-
	засушливый	40	75	105	-
1,0	влажный	-2	-20	-	-
	средний	30	33	-	-
	засушливый	35	62	-	-
1,3	влажный	-18	-	-	-
	средний	5	-	-	-
	засушливый	30	-	-	-

Экспериментальные данные по суммарному испарению с осушаемой и неосушенной части водосбора позволяют определить его изменение как результат совместного воздействия всех трех отмеченных факторов. Наибольшее уменьшение суммарного испарения в зоне влияния ГМС происходит в летний период и составляет 14%, для вегетационного периода уменьшение равно 9%, уменьшение месячных значений летнего периода – 12...16%. В начале и конце вегетации испарение практически не откликается на воздействие осушительной системы, что закономерно, так как влагозапасы в почве весной и осенью достаточно велики, а биологическая активность трав невысокая, поэтому влияния снижения грунтовых вод на испарение не заметно.

Установлено, что уменьшение влажности почвы в зоне понижения уровня грунтовых вод больше проявляется в засушливые периоды, чем во влажные, подчиняется экспоненциальному закону (рисунок 4.10).

Это уменьшение можно определить по следующей зависимости (4.4):

$$\frac{w_{ПВ} - w}{w_{ПВ} - w_M} = 1 - \exp(-0,93H). \quad (4.4)$$

где: $w_{ПВ}$ - полная влагоемкость, % объема; w – текущая влажность при глубине грунтовых вод H (м), % объема; w_M – максимальная молекулярная влагоемкость, % объема (для исследуемых условий составляет 13% объема в слое 0,5 м).

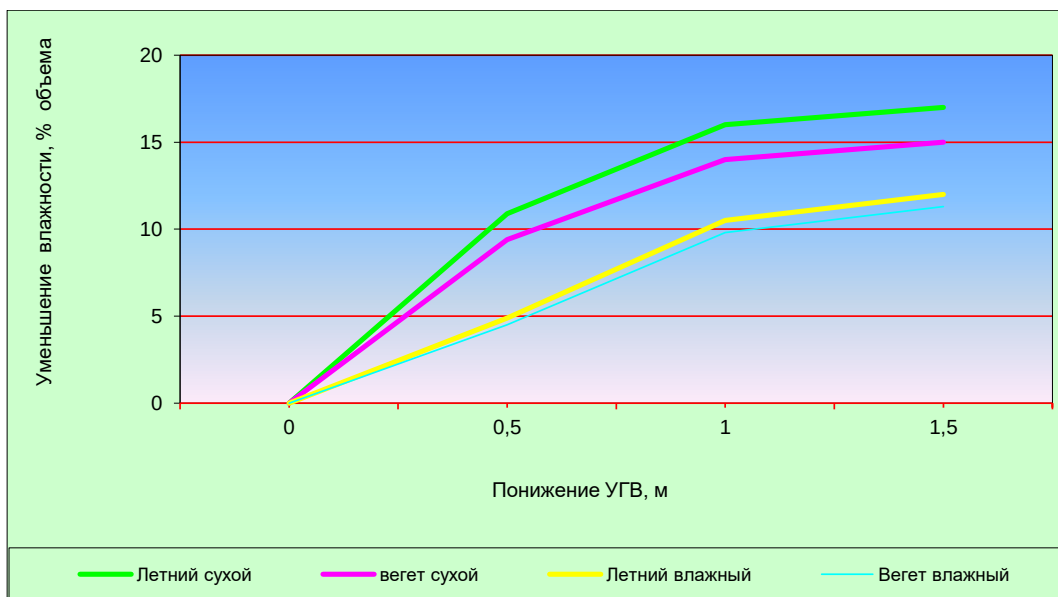


Рисунок 4.10 - Зависимость уменьшения влажности почв при понижении уровня грунтовых вод в зоне действия ГМС Вожа

Уменьшение влажности почв в зоне действия осушительной системы имеет нежелательные экологические последствия, которые проявляются в снижении продуктивности агроландшафтов. Опытные данные по этому вопросу остаются пока немногочисленными, а часто они противоречивы, что объясняется сложностью постановки соответствующих натурных экспериментов. Вывод наших исследований состоит в том, что ухудшение влагообеспеченности агроландшафта количественно можно принять равным уменьшению вертикального водообмена корнеобитаемого слоя с грунтовыми водами при понижении их уровня. Дополнительный дефицит влаги составляет около 23 мм, что примерно соответствует одной поливной норме. Этот дефицит и формирует уменьшение биопродуктивности агроландшафтов в зоне действия осушительных систем Мещерской низменности.

По данным параллельных исследований МГУ (К.Н. Дьяконов), наибольшее уменьшение продуктивности отмечается на лугах низкого уровня и составляет 24...36%. Преобладание в фитоценозах лугов среднего уровня мезофильных видов снижает значение грунтового увлажнения как экологического фактора. Здесь уменьшение продуктивности составляет 7...32% [1].

В зоне влияния Вожской осушительной системы по реакции древесного яруса на снижение уровня грунтовых вод К.Н. Дьяконовым [1, 2] выделены два пояса: повышения и снижения продуктивности. Увеличение прироста на 20...25% в ранее заболоченных сосняках отмечено до высоты 0,7...1,1 м над уровнем болота при ширине пояса 70...100 м. Еловые леса повысили свою продуктивность до высоты 0,6 м. Ширина пояса не более 50...100 м.

Уменьшение продуктивности сосновых лесов на 20% прослеживается до высоты 2,5 м над уровнем болота при ширине пояса до 250 м, а еловых – до высоты 1,6 м при ширине пояса 100...120 м [1, 2].

Подводя итоги пионерных исследований по влиянию мелиорации на ОПС следует отметить, что осушительные системы сельскохозяйственного назначения вызывают понижение уровня грунтовых вод прилегающих территорий на 0,5...0,7 м у границы ГМС, которое с затуханием до 0,1 м прослеживается на расстоянии 0,5...1,2 км. Более интенсивное воздействие оказывают системы для торфодобычи, меньшее – лесоосушительные.

Уменьшение влажности почвы в зоне понижения уровня грунтовых вод сильнее проявляется в засушливые периоды, чем во влажные, подчиняется экспоненциальному закону и во многом зависит от рельефа прилегающих земель. Ареал воздействия осушительных систем Мещерской низменности на влажность почвы оценивается от 30 до 50% площади осушения, что сопровождается изменением биопродуктивности луговых и лесных ландшафтов.

Изменение суммарного испарения в зоне влияния осушительной системы определяется понижением уровня грунтовых вод и уменьшением притока влаги к испаряющей поверхности, изменением микроклимата, возможной трансформацией растительных сообществ и связанного с этим изменения транспирации и альбедо подстилающей поверхности. Наиболее существенным является гидромелиоративный фактор.

Полевыми и лизиметрическими исследованиями установлено, что уменьшение суммарного испарения при понижении уровня грунтовых вод на 0,1...0,5 м при исходной глубине их залегания 1...1,2 м составляет 11...13%. Среднегодовое уменьшение суммарного испарения существенно для срочных (2...2,5 мм), декадных (2,6...3,4 мм), месячных летнего периода (12 мм) и сезонных (32...40 мм) периодов наблюдений.

Полученные результаты были применены в практике проектирования мелиоративных систем, а также при разработке нормативных документов: в руководстве по разработке раздела охраны природы в проектах мелиорации земель [12], в руководстве по длительному сельскохозяйственному использованию осушаемых торфяных почв Нечерноземной зоны РФ [13], в рекомендациях по оценке влияния осушения на водный режим почв и при разработке типовых схем природоохранных мероприятий для проектов мелиорации земель Мещерской низменности [11]. Они также послужили базовой информацией при разработке в последующие периоды природоохранных мелиоративных режимов и новых конструкций гидромелиоративных систем.

Список использованных источников

1. Дьяконов К.Н. Задачи, программа, методы и результаты исследований осушительной системы и ее зоны влияния в Мещере / К.Н. Дьяконов, И.А. Авессаломова, Е.В. Ермолова, А.Н. Иванов, С.А. Крюкова, С.Г. Покровский, Е.С. Сперанская, Д.М.Очагов // В сборнике: Природно-мелиоративный мониторинг в СССР. Ответственный редактор: А.М. Шульгин. Москва, 1984. С. 89-98.
2. Дьяконов К.Н. Экологические проблемы осушительных мелиораций // В книге: Основы эколого-географической экспертизы. Печатается по постановлению Редакционно-издательского совета Московского университета. – Москва, 1992. С. 194-217.
3. Никитин И.С. Мелиорация земель Мещерской низменности / И.С. Никитин, Е.П. Панов, К.Н. Родин. – М.: Московский рабочий, 1986. – 208 с.
4. Маслов Б.С. Влияние осушения болот на уровни грунтовых вод прилегающих земель и водопритоки к болотам / Б.С. Маслов, В.К. Седова // В сборнике: Осушение, орошение и освоение земель. Вып.2. – Рязань, Московский рабочий, 1973. С. 11-25.
5. Маслов Б.С. Осадка торфа // Мелиоративная энциклопедия. В трех томах. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; составитель: Б.С. Маслов; главный редактор: А.В. Колганов. Москва, Т2, 2004. С. 307-309.
6. Маслов, Б. С. Мелиоративная наука в период широкого развития мелиорации [Текст] / Б.С. Маслов // Мелиорация и водное хозяйство. 2006. № 2. - С. 48-53.
7. Маслов Б.С. Болото и пиар природных стихий / Б.С. Маслов, П.И. Пыленок. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2019. – 76 с.
8. Пыленок П.И. Эолого-мелиоративный болотный стационар "Вожа" Рязанской области // В сборнике: Мелиоративно-болотные стационары России. - Москва, 1997. С. 42-46.
9. Пыленок П.И. Природоохранные мелиоративные режимы и технологии / П.И. Пыленок, И.В. Сидоров. – М.: Россельхозакадемия, 2004. – 323 с.
10. Пыленок П.И. Способ определения суммарной потери углерода и интегральной эмиссии диоксида углерода при осушении болот // Патент РФ № 2804735, Бюл. № 28, 2023.
11. Оценка влияния осушения на водный режим почв и типовые схемы природоохранных мероприятий для проектов мелиорации земель Мещерской низменности (Временные рекомендации) / П.И. Пыленок, Ю.А. Томин, В.Г. Мирошниченко. – Рязань, 1988. – 77 с.
12. Руководство по разработке раздела «Охрана природы» в составе проекта мелиорации земель (ВТР-П-2.-80). М.: Минводхоз СССР, 1981. -58 с.
13. Руководство по длительному сельскохозяйственному использованию осушаемых торфяных почв Нечерноземной зоны РФ / Б.С. Маслов, А.В. Колганов, В.А. Шаманаев, А.П. Лысеиок, В.П. Зоткин, П.И. Пыленок, И.М. Емельянова, Н.Е. Башарина, Е.И. Кормыш, В.С. Садикова, Г.Г. Воробьев. – Москва, 1999. – 98 с.
14. [Электронный ресурс] // URL: 4. <https://history.jes.su/s207987840013686-3-1/> (дата обращения: 07.04.2026).

References

1. Dyakonov K.N. Tasks, program, methods and results of studies of the drainage system and its zone of influence in Meshchera / K.N. Dyakonov, I.A. Absalomova, E.V. Ermolova, A.N. Ivanov, S.A. Kryukova, S.G. Pokrovsky, E.S. Speranskaya, D.M.Ochagov //In the collection: Natural reclamation monitoring in the USSR. Responsible editor: A.M. Shulgin. Moscow, 1984. pp. 89-98.

2. Dyakonov K.N. Ecological problems of drainage land reclamation // In the book: Fundamentals of ecological and geographical expertise. It is published by resolution of the Editorial and Publishing Council of Moscow University. – Moscow, 1992. pp. 194-217.
3. Nikitin I.S. Land reclamation of the Meshcherskaya lowland / I.S. Nikitin, E.P. Panov, K.N. Rodin. – M.: Moskovsky rabochy, 1986. – 208 p.
4. Maslov B.S. The influence of swamp drainage on groundwater levels of adjacent lands and water flows to swamps / B.S.Maslov, V.K.Sedova // In the collection: Drainage, irrigation and land development. Issue.2. Ryazan, Moskovsky rabochy, 1973. pp. 11-25.
5. Maslov B.S. Peat sediment // Meliorative encyclopedia. In three volumes. Ministry of Agriculture of the Russian Federation; compiled by B.S. Maslov; editor-in-chief: A.V. Kolganov. Moscow, T2, 2004. pp. 307-309.
6. Maslov, B. S. Meliorative science in the period of widespread development of land reclamation [Text] / B. S. Maslov // Land reclamation and water management. 2006. No. 2. pp. 48-53.
7. Maslov B.S. The swamp and the PR of natural elements / B.S. Maslov, P.I. Pylenok. – 2nd ed., reprint. Moscow: Kostyakov Federal State Budgetary Budgetary Institution VNIIGiM, 2019– 76 p.
8. Pylenok P.I. Vozha Ecological and meliorative Swamp Hospital of the Ryazan Region // In the collection: Reclamation and swamp hospitals of Russia. - Moscow, 1997. pp. 42-46.
9. Pylenok P.I. Environmental reclamation regimes and technologies / P.I. Pylenok, I.V. Sidorov. – M.: Rosselkhoznadzor, 2004. – 323 p.
10. Pylenok P.I. A method for determining the total carbon loss and integral carbon dioxide emission during the drainage of swamps. // Patent of the Russian Federation No. 2804735, Byul. No. 28, 2023.
11. Assessment of the effect of drainage on the water regime of soils and standard schemes of environmental protection measures for land reclamation projects in the Meshcherskaya lowland (Temporary recommendations) / P.I. Pylenok, Yu.A. Tomin, V.G. Miroshnichenko. – Ryazan, 1988. – 77 p.
12. Guidelines for the development of the section "Nature Protection" as part of the land reclamation project (VTR-P-2.-80). Moscow: USSR Ministry of Water Resources, 1981. - 58 p.
13. Guidelines for long-term agricultural use of drained peat soils of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation / B.S. Maslov, A.V. Kolganov, V.A. Shamanaev, A.P. Lyseyok, V.P. Zotkin, P.I. Pylenok, I.M. Yemelyanova, N.E. Basharina, E.I. Kormysh, V.S. Sadikova, G.G. Vorobyev. – Moscow, 1999. - 98 p.
14. [Electronic resource] // URL: 4. <https://history.jes.su/s207987840013686-3-1> / (date of access: 04/07/2026).

Глава 5 ***ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ***

5.1 ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН И ФОЛИАРНЫХ ОБРАБОТОК НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА СОИ ПРИ ОРОШЕНИИ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

Соя – это исключительное сельскохозяйственное растение, отличающееся своими уникальными биологическими характеристиками и хозяйственной значимостью, что обуславливает ее широкое применение. Ценность сои в питании обусловлена высоким содержанием в ее зернах почти всех жизненно важных питательных веществ [4]. Благодаря этим качествам, соя вышла на четвертое место в мировом производстве, уступая лишь пшенице, кукурузе и рису. Следовательно, наращивание производства сои напрямую связано с реализацией стратегии импортозамещения и обеспечением продовольственной безопасности страны.

В мировом масштабе соей засеяно более 120 миллионов гектаров, при этом средняя урожайность составляет 2,8 тонны зерна с гектара. Увеличение общего объема производства сои является эффективным методом решения проблемы нехватки высококачественного белка и ценного растительного масла. Повышение статуса сои как пищевого продукта и улучшение ее экологической безопасности представляют собой актуальные задачи в контексте обеспечения продовольственной безопасности. В нашей стране посевные площади под соей превышают 4 миллиона гектаров. Примечательно, что в Волгоградской области в 2024 году произошло увеличение посевных площадей сои на треть, до 36,1 тысяч гектаров. Общий сбор составил 46,8 тысяч тонн, а урожайность достигла 1,31 тонны с гектара [4, 6].

Соя, в отличие от многих других культур, прекрасно отзывается на орошение, что приводит к значительному увеличению урожайности, зависящему от климатических условий, характеристик сорта и агротехнических приемов, по сравнению с выращиванием на богарных землях [3, 7].

Предпосевная обработка семян микроудобрениями, биостимуляторами и биологическими инокулянтами, характеризующаяся как бережный подход с минимальными дозами внесения, весьма перспективна с экологической точки зрения и может стать важным компонентом современных эффективных систем возделывания культур [1, 5]. Это особенно актуально для сои, являющейся одной из ключевых белково-масличных культур мирового значения [4]. Поэтому разработка эффективных биологизированных методов предпосевной обработки семян сои в условиях современного агрохимического

земледелия имеет как теоретическое, так и практическое значение для построения агробиоценозов на биологической основе. Инокуляция растений высокоэффективными штаммами клубеньковых бактерий способствует увеличению продуктивности бобовых в среднем на 10...25% [1, 2, 6].

Цель исследований – определение влияния предпосевной обработки семян и внекорневого внесения препаратов на продуктивность и качество полученного зерна сои при различной влагообеспеченности в условиях орошения. Для выполнения поставленной цели предусматривается решение следующих задач:

- Изучить эффективность foliarных обработок сои с применением современных препаратов для их проведения при разных уровнях водообеспечения;
- Обосновать параметры водного режима почвы и орошения сои для поддержания заданных уровней водообеспечения.

Исследовательская работа проводилась в период с 2021 по 2023 годы на базе опытной станции «Орошаемая», расположенной в поселке Водный Волгоградской области. Эксперименты осуществлялись на светлокаштановых почвах. Объектом исследования явился сорт сои Волгоградка 2.

По трехфакторной схеме осуществлялась закладка полевого опыта.

Фактор А представлял собой два подхода к предпосевной подготовке семян: А₁. Контрольная группа, где семена не подвергались никакой обработке.

А₂. Семена обрабатывались комплексной смесью биопрепаратов: Импровер (20 мл/т), Геостим ФитГ (5 л/т) и Гумэл Супер (1 л/т).

Фактор В включал два режима орошения почвы:

В₁. Поддержание влажности почвы на уровне 70-80-70% НВ с глубиной увлажнения 0,4 и 0,6 метра. Схема увлажнения предполагала: 70% НВ на глубине 0,4 м от посева до завершения ветвления; 80% НВ на глубине 0,6 м от начала цветения до окончания налива зерна; и поддержание влажности не ниже 70% НВ на глубине 0,6 м от окончания налива до полной спелости.

В₂. Поддержание влажности почвы на уровне 80% НВ по схеме: в период от посева до завершения ветвления увлажнение осуществлялось на глубину 0,4 м, а от начала цветения до полной спелости зерна – на глубину 0,6 м.

Фактор С включал четыре вида внекорневых подкормок:

С₁. Контроль, без внекорневых обработок.

С₂. Обработка фунгицидом Колосаль про (0,5 л/га).

С₃. Применение природного минерала Билатор (1 л/га).

С4. Использование баковой смеси биопрепаратов, включающей Геостим ФитЖ (1 л/га), БФТИМ (2 л/га), Импровер (50 мл на 100 мл раствора), Гумэл Люкс (1 л/га) и Гумэл БорМолибден (1 л/га).

Разбивка полевого опыта проводилась согласно стандартной методике Б.А. Доспехова. Для орошения применялась дождевальная установка марки Bauer. Способ полива – дождевание. Плотность посева составила 600 тысяч всхожих семян на гектар.

Урожайность оценивалась методом биологической оценки, путем уборки растений с фиксированных учетных площадок в каждом варианте опыта. Собранные образцы подвергались анализу, после чего полученные показатели пересчитывались на гектар.

Посев сои проводился в оптимальные сроки – в первой-второй декаде мая, когда температура почвы на глубине заделки семян составляла 12...14 °С.

По количеству осадков 2021 и 2022 годы были засушливыми (153,6...161,5 мм соответственно), а 2023 год – особенно сухим (106,4 мм). Сумма активных температур выше 10 °С в период вегетации сои варьировалась от 3215,3 °С в 2022 году до 3348,4 °С в 2021 году. Гидротермический коэффициент (ГТК) за эти годы составлял 0,46 в 2021 году, 0,50 в 2022 году и 0,32 в 2023 году.

В связи с острой нехваткой естественной влаги, гарантированный сбор сои возможен лишь при использовании орошения (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Затраты оросительной воды по вариантам водного режима, 2021-2023 гг.

Предполивная влажность почвы, % НВ	Годы	Фазы роста и развития			Оросительная норма, м ³ /га
		посев-ветвление	ветвление-налив	налив-спелость	
		количество поливов / затраты оросительной воды			
70-80-70, h – 0,4 и 0,6 м	2021	1/350	8/300	1/450	3200
	2022	1/350	9/300	1/450	3500
	2023	1/350	10/300	1/450	3800
80, h – 0,4 и 0,6 м	2021	2/250	8/300	2/300	3500
	2022	2/250	9/300	2/300	3800
	2023	3/250	9/300	2/300	4050

В 2021 г. на дифференцированном режиме орошения оросительная норма составила 3200 м³/га, в 2022 г. – 3500, а в 2023 г. – 3800 м³/га. При водном режиме 80% НВ в первый год наблюдений оросительная норма составила 3500 м³/га, в 2022 г. – 3800 и 4050 м³/га в 2023 г.

Количественные показатели приходных статей водного баланса позволяют оценивать долевое участие, как оросительной воды, атмосферных осадков, так и запасов почвенной влаги для формирования высокой

продуктивности сои. Суммарное водопотребление сои зависело от изучаемых режимов орошения по годам наблюдений (таблица 5.2).

Таблица 5.2 - Суммарное водопотребление сои при различных водных режимах почвы, 2021-2023 гг.

Предполивная влажность почвы, % НВ	Год исследования	Оросительная норма		Поступление осадков		Использование почвенной влаги		Суммарное водопотребление, м ³ /га
		м ³ /га	%	м ³ /га	%	м ³ /га	%	
70-80-70 % НВ h – 0,4 и 0,6 м	2021	3200	73,58	987	22,69	162	3,73	4349
	2022	3500	76,45	896	19,57	182	3,98	4578
	2023	3800	77,69	816	16,68	275	5,63	4891
	среднее	3500	75,99	900	19,54	206	4,47	4606
80 % НВ h – 0,4 и 0,6 м	2021	3500	74,91	1090	23,33	82	1,76	4672
	2022	3800	78,97	896	18,62	116	2,41	4812
	2023	4050	82,08	816	16,54	68	1,38	4934
	среднее	3784	78,65	934	19,50	88,93	1,85	4806

Анализируя данную таблицу, следует отметить, что суммарное водопотребление на режиме 70-80-70% НВ колебалось от 4349 до 4891 м³/га, а на режиме 80% НВ – 4672...4934 м³/га.

При оценке эффективности влияния исследуемых агротехнических приемов на количество и качество получаемой продукции важную роль играет коэффициент водопотребления. На основании этого коэффициента можно определить объем воды, который расходуется растениями на формирование единицы товарной продукции (рисунок 5.1).

В среднем за три года показатели коэффициента водопотребления составили следующие значения: контрольный вариант показал 2886 м³/т при дифференцированном режиме орошения без инокуляции; вариант с применением инокуляции при том же режиме орошения составил 2275 м³/т. На вариантах с постоянным водным режимом без применения инокуляции коэффициент водопотребления составил 2111 м³/т, а с применением инокуляции - 1711 м³/т.

Использование химического препарата – фунгицида для внекорневой обработки посевов заметно снижало коэффициент водопотребления на 5...13% от контроля, а природного минерала - на 16...21%

от необработанного контрольного варианта. Минимальные значения коэффициента водопотребления получены при фолларном использовании биокomплекса и составили: при дифференцированном водном режиме почвы без инокуляции семян 2084 м³/т, на варианте с инокуляцией 1654 м³/т, при постоянном режиме орошения (80% НВ) без инокуляции 1625 м³/т и с инокуляцией 1288 м³/т.

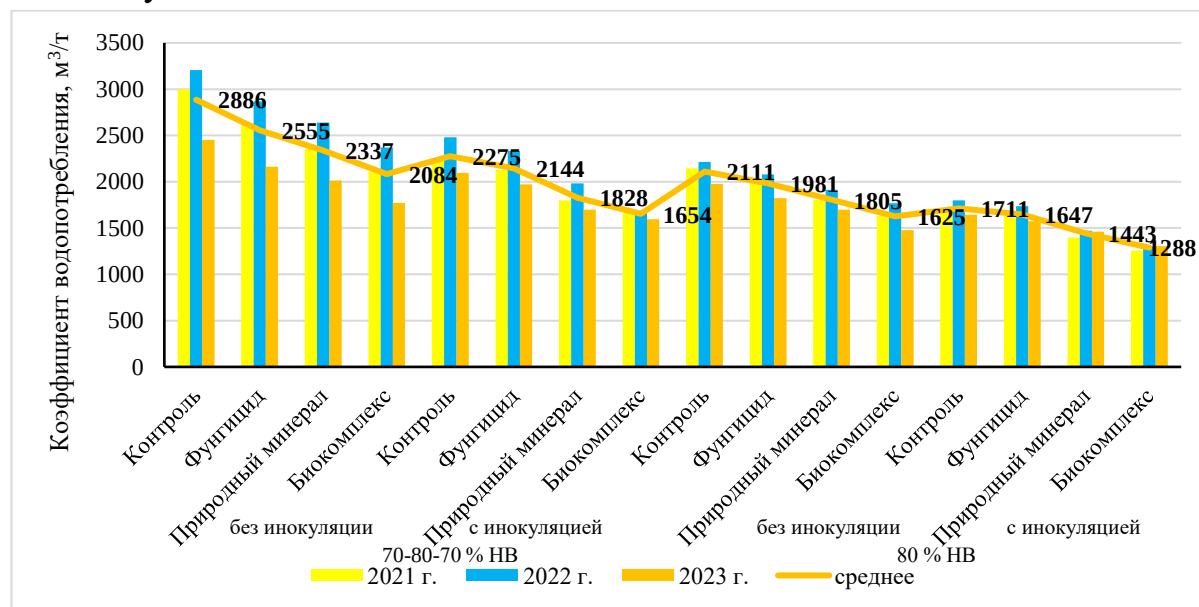


Рисунок 5.1 – Коэффициент водопотребления сои по годам наблюдений в зависимости от изучаемых факторов, (м³/т), 2021-2023 гг.

В результате получены данные по урожайности сои за период исследований (рисунок 5.2).

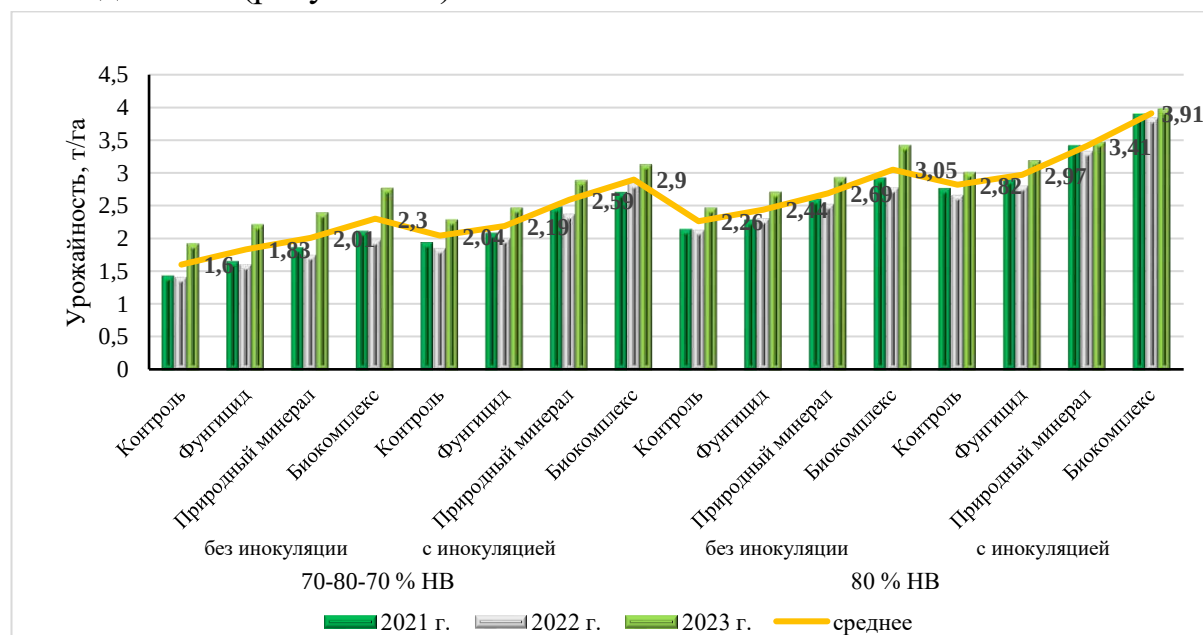


Рисунок 5.2 – Урожайность посевов сои в зависимости от изучаемых факторов, 2021-2023 гг.

Средняя продуктивность сои за три года составила от 1,60 до 3,91 т/га. Максимальная продуктивность сои (3,91 т/га) наблюдалась при водном режиме почвы 80 % НВ с использованием предпосевной инокуляции семян и опрыскиванием посевов биологическим комплексом препаратов в период вегетации.

Получены значения содержания общего белка и жира в семенах сои, которые определяют ценность культуры и экономическую целесообразность её выращивания (таблица 5.3),

Таблица 5.3 – Качественные показатели зерна сои, 2021 -2023 гг.

Варианты опыта	Среднее, %	
	содержание белка	содержание жира
70-80-70 % НВ		
без инокуляции		
Контроль	28,77	19,18
Фунгицид	30,77	19,80
Природный материал	33,08	20,68
Биокомплекс	34,34	21,25
с инокуляцией		
Контроль	29,68	19,46
Фунгицид	31,54	20,14
Природный материал	33,49	20,84
Биокомплекс	34,60	21,52
80 % НВ		
без инокуляции		
Контроль	30,20	19,63
Фунгицид	32,34	20,28
Природный материал	33,94	21,34
Биокомплекс	36,81	22,02
с инокуляцией		
Контроль	31,27	20,15
Фунгицид	33,19	20,65
Природный материал	34,79	21,48
Биокомплекс	37,29	22,78

В среднем за три года содержание белка по вариантам опыта колебалось от 28,77% до 37,29%.

При поддержании предполивного порога влажности на уровне 70-80-70% НВ наименьшее значение содержание белка в зерне без использования инокуляции семян составило в среднем от 28,77 до 34,34%, а с инокуляцией при том же водном режиме – 29,68...34,60%.

На монорежиме (влажность 80% НВ) содержание белка без проведения инокуляции составило 30,20...36,81%, а максимальное его количество отмечено на варианте использования препаратов с проведением предпосевной обработки семян – 31,27...37,29%.

Анализ данных по содержанию жира в среднем за годы исследований показывает, что при варианте без инокуляции и поддержании нижнего порога влажности почвы на уровне 70-80-70% наименьшей влагоемкости, его значения варьировались в пределах от 19,18 до 21,25%. На делянках с инокуляцией при аналогичных условиях водного режима содержание жира составляло 19,46...21,52%.

При варианте водного режима почвы с поддержанием влажности на уровне 80% НВ без проведения предпосевной инокуляции семян содержание жира в зерне сои находилось в диапазоне 19,63...22,02%.

Наилучшие результаты по содержанию жира в зерне 22,78%, были достигнуты на делянках, где применялась предпосевная инокуляция семян и внекорневая обработка посевов с поддержанием предполивного порога влажности почвы на уровне 80% НВ.

Полученные данные свидетельствуют о том, что комплексное применение инокуляции и внекорневой обработки в сочетании с оптимальным водным режимом, оказывает положительное влияние на накопление липидов в зерне сои и обеспечивает повышение качества сельскохозяйственной продукции.

Выводы. Совместное применение предпосевной инокуляции семян с фоллиарной обработкой посевов биокomплексом при орошении светлокаштановых почв Нижнего Поволжья способствует получению урожайности 3,91 т/га с высокими показателями качества зерна.

1. За три года исследований оросительная норма составила от 3200 до 3800 м³/га на режиме 70-80-70% НВ, а на 80% НВ – от 3500 до 4050 м³/га. На режиме 70-80-70% НВ суммарное водопотребление изменялось от 4349 до 4891 м³/га, а на режиме 80% НВ – 4749...4920 м³/га.

2. Установлено, что в среднем за три года показатели коэффициента водопотребления колебались от 2922 м³/т при дифференцированном режиме орошения без инокуляции до 2273 м³/т с инокуляцией. На вариантах с поддержанием предполивного порога влажности на уровне 80% НВ без применения инокуляции коэффициент водопотребления составил 2137 м³/т, а с применением инокуляции – 1708 м³/т.

3. Наилучшие показатели качества зерна показал вариант с поддержанием предполивного порога влажности на уровне 80% НВ с инокуляцией семян и фоллиарной обработкой биокomплексом, где содержание белка достигло 37,29% и жира – 22,78%.

Список использованных источников

1. Агапова, С. А. Влияние предпосевной инокуляции семян и внекорневого внесения препаратов на продуктивность и качество зерна сои в условиях орошения дождеванием в Нижнем Поволжье / С. А. Агапова, А. Ю. Москвичев // Мелиорация и гидротехника. – 2024. – Т. 14, № 3. – С. 181-191.
2. Агапова, С. А. Инокуляция семян сои -фактор получения стабильных урожаев с надлежащим качеством зерна при орошении / С. А. Агапова // Орошаемое земледелие. – 2025. – № 3(50). – С. 46-52.
3. Бельшкينا, М. Е. Влияние условий влагообеспеченности вегетационного периода на продуктивность и кормовую ценность сои / М. Е. Бельшкينا, Т. П. Кобозева // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 1(65). – С. 6-15. – DOI 10.18286/1816-4501-2024-1-6-12. – EDN JALFXA.
4. Васильчиков, А.Г. Управление вегетацией перспективных сортообразцов сои путем применения высокоэффективных инокулянтов / А.Г. Васильчиков, А.С. Акулов // Земледелие. - 2018. - № 4. - С. 19-22.
5. Оценка влияния биопрепарата на продуктивность сои в условиях Нижнего Поволжья / А.Ю. Левкина, С. А. Зайцев, А. В. Поминов [и др.] // Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях аридизации климата: Сборник материалов II международной научно-практической конференции ФГБНУ РосНИИСК "Россорго", Саратов, 24–25 марта 2022 года. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2022. – С. 318-322.
6. Шабалдас, О. Г. Биологические особенности и продуктивность сортов сои в условиях зоны неустойчивого увлажнения на орошении / О. Г. Шабалдас, Т. Г. Зеленская // Проблемы развития АПК региона. – 2024. – № 4(60). – С. 108-112. – DOI 10.52671/20790996_2024_4_108. – EDN RSSGTV.
7. Эффективность возделывания сои на орошении в условиях Волгоградской области / О.Г. Чамурлиев, Г. О. Чамурлиев, Л. А. Феофилова [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2024. – № 7. – С. 61-64. 5. Валовой сбор и урожайность сельскохозяйственных культур в 2023 году / Территориальный орган федеральной службы государственной статистики по Волгоградской области. Волгоград, 2024. 60 с.

References

1. Agapova, S. A. The influence of pre-sowing inoculation of seeds and foliar application of preparations on the productivity and quality of soybean grain under irrigation conditions by sprinkling in the Lower Volga region / S. A. Agapova, A. Y. Moskvichev // Land reclamation and hydraulic engineering. – 2024. – Vol. 14, No. 3. – pp. 181-191.
2. Agapova, S. A. Inoculation of soybean seeds is a factor in obtaining stable yields with proper grain quality during irrigation / S. A. Agapova // Irrigated agriculture. – 2025. – № 3(50). – Pp. 46-52.
3. Belyshkina, M. E. The influence of moisture supply conditions of the growing season on the productivity and feed value of soybeans / M. E. Belyshkina, T. P. Kobozeva // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. – 2024. – № 1(65). – Pp. 6-15. – DOI 10.18286/1816-4501-2024-1-6-12. – EDN JALFXA.
4. Vasilchikov, A.G. Vegetation management of promising soybean cultivars through the use of highly effective inoculants / A.G. Vasilchikov, A.S. Akulov // Agriculture. - 2018. - No. 4. - pp. 19-22.

5. Levkina A. Yu., Zaitsev S. A., Pominov A.V. Assessment of the effect of a biological product on soybean productivity in the Lower Volga region [et al.] // Scientific support for the sustainable development of the agro-industrial complex in the context of climate aridization: Proceedings of the II International Scientific and Practical conference of RosNIISK Rossorgo, Saratov, March 24-25, 2022 of the year. Saratov: Amirit Limited Liability Company, 2022, pp. 318-322.
6. Shabaldas, O. G. Biological features and productivity of soybean varieties in the conditions of an unstable moistening zone under irrigation / O. G. Shabaldas, T. G. Zelenskaya // Problems of agroindustrial complex development in the region. – 2024. – № 4(60). – Pp. 108-112. – DOI 10.52671/20790996_2024_4_108. – EDN RSSGTV.
7. Efficiency of soybean cultivation for irrigation in the Volgograd region / O. G. Chamurliiev, G.O. Chamurliiev, L. A. Feofilova [et al.] // Agrarian Scientific Journal. – 2024. – No. 7. – pp. 61-64. 5. Gross harvest and crop yield in 2023 / Territorial body of the Federal Service for Agricultural Research state statistics on the Volgograd region. Volgograd, 2024. 60 p.

5.2 УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПЕРЕРЫВИСТОЙ ПОДАЧИ ВОДЫ В КАПЕЛЬНУЮ СИСТЕМУ ОРОШЕНИЯ

Вода, забираемая из источников орошения и транспортируемая по каналам и трубопроводам оросительных систем, остается недоступной для возделываемых культур до тех пор, пока с помощью специальных технических устройств она при поливе не будет переведена из состояния тока в состояние влажности почвы. Основное назначение поливов сводится к оптимизации водного и воздушного режимов в активном слое почвы, повышению влажности приземного слоя воздуха или снижению содержания солей в почвенно-грунтовой среде.

Модернизация всей системы орошения помогла бы ежегодно сберегать свыше 50% воды, что по оценкам экономистов обойдется примерно в 16 млрд. долларов США. Но важно, что еще, из-за высоких температур уровень воды в водоемах понижается, благодаря повышенной испаряемости. Глобальное потепление, к великому сожалению, может привести к плачевному результату и уже к 2030 году две великие реки Центральной Азии – Аму-Дарья и Сыр-Дарья – обмелеют на 10...15%.

Орошение на территории Центральной Азии проводилось еще за 10 000 лет до н.э. Древние оазисы орошения Самарканд, Бухара, Мерв, Фергана, Хива, являлись основной житницей Центральной Азии, где вода использовалась весьма рачительно, по принципу «Вода – это жизнь». Даже плюнуть в воду было великим грехом. В докладе Евразийского банка развития (ЕАБР) «Продовольственная безопасность и раскрытие агропромышленного потенциала Евразийского региона» говорится, что в случае недостаточного регионального сотрудничества до 2050 года страны Центральной Азии могут столкнуться с дефицитом поливной воды. По существующим данным

водозабор на душу населения по сравнению с советским периодом сократился вдвое [1]. В перспективе дефицит воды в странах с засушливым климатом будет только возрастать, ограничивая потенциал расширения сельскохозяйственных земель. Решение продовольственной безопасности соответственно находится в тесной связи с повышением эффективности управления водно-энергетическим комплексом и широким применением водо-сберегающих технологий [1].

По данным ЕАБР, экономика государств ЦА характеризуется высоким уровнем энергоемкости и водоемкости отраслей экономики, и главным образом, сельского хозяйства и промышленности. «Социально-экономическое развитие стран Центральной Азии в бассейне Аральского моря, уже давно происходит в условиях истощения водных ресурсов, что определяет основной вектор в межгосударственных отношениях стран региона. Дефицит воды в регионе во многом обусловлен слабой организацией водопользования в сельском хозяйстве и промышленности. Неудовлетворительное состояние водохозяйственной инфраструктуры (по данным в Таджикистане до 40% потерь воды происходит в процессе прохождения её от водозабора до поля) и недостаточность средств, выделяемых на ее техническое обслуживание и развитие» - подчеркивается в докладе» [1].

По данным Всемирного банка 25 млн. тонн токсичных солей и пыли в год поднимается в атмосферу Центральной Азии со дна высыхающего Аральского моря. Это более 205 тыс. тонн пыли в день, которую ветра доносят до ледников, вызывая их интенсивное таяние.

Страны ЦА продолжают испытывать недостаток воды и в международной классификации находятся в категории «недостаточно обеспеченных» водными ресурсами стран (при пороге от 1000 до 1700 м³/чел./год). И по умеренному сценарию развития ситуации в ЦА данное положение сохранится в долгосрочной перспективе.

«В случае недостаточного регионального экономического сотрудничества (и в том числе неудовлетворительной водо-энергетической интеграции) в перспективе до 2050 года страны ЦА могут приблизиться к состоянию «водо-дефицитных» (1296 м³/чел./год при пороге в 1000 м³/чел./год)» - отмечается в докладе [1].

Вопрос водо-обеспечения усугубляется решением Афганистана построить канал Куш-Тепа длиной 285км шириной 100 м. Международная экологическая коалиция «Реки без границ» (Rivers without Boundaries) предупреждает, что ввод канала в эксплуатацию станет ударом по водоснабжению всех стран в бассейне Аму-Дарьи.

Однако, по данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), запасы водных ресурсов в странах ЦА в расчете на душу населения, на сегодняшний день, достаточны (около 2,3 тыс. м³). Проблема кроется не в дефиците, а в нерациональном (расточительном) использовании водных ресурсов.

Также в докладах ФАО говорится, что страны ЦА входят в десятку лидеров водопотребления в мире: Туркменистан - 5319; Казахстан – 2345; Узбекистан – 2295; Кыргызстан - 1989 и Таджикистан – 1895 м³/чел./год. Кроме того, для получения единицы продукции в сельском хозяйстве стран ЦА расходуется в 2,5...3 раза больше воды, нежели в развитых странах [1].

Сегодня в водном хозяйстве Таджикистана на нужды сельского хозяйства с орошаемым земледелием и энергетике расходуется - 92% объема потребляемой воды, а на промышленность и коммунальное хозяйство – около 4%.

К выводу, что Центральная Азия – самый проблемный регион, где допускается величайшее расточительство в использовании водных ресурсов, пришли и специалисты Северо-Западного университета A&F китайской провинции Шаньси и сотрудники министерства водных ресурсов КНР. Китайские эксперты уверены, что при разумном использовании водных и земельных ресурсов в странах Центральной Азии можно сэкономить до 56% воды и накормить около 387 млн. человек [1].

В связи с вышеизложенным, рассмотрим способы и устройства, позволяющие экономить поливную воду, а не транжирить этот великий божественный дар природы.

В настоящее время распространены в основном такие способы и техники полива, которые регулируют водный режим путем периодической подачи и накопления влаги в почве при рачительном расходе воды. Однако в последнее время получают распространение способы и техники полива, направленные на подачу растениям такого количества воды, которое ежедневно расходуется ими. В зависимости от применяемых для проведения поливов технических устройств и условий контакта воды с почвой и растениями в настоящее время можно выделить следующие способы орошения: поверхностный, дождевание, мелкодисперсное дождевание, внутрпочвенное и подземное [3].

В практике орошаемого земледелия наиболее распространены поверхностные способы полива. Процесс поступления оросительной воды в почву и превращение ее в состояние почвенной влаги при поверхностном орошении происходит под действием гравитационных и капиллярных сил, а также гидростатического напора слоя движущейся или неподвижной воды.

Для экономии воды при поливе различных сельскохозяйственных культур учеными разработаны различные способы, среди них наиболее перспективный способ – это капельное орошение, дающий до 50% экономии воды. Однако капельная система весьма дорогостоящее устройство (от 2500 до 12000 долл. США на 1 га поливной площади, в зависимости от качества продукции) [12].

Сущность капельного орошения сводится к подаче воды на увлажняемый объект в виде небольших струй или капель. Принципиальной особенностью такого способа орошения является локальное увлажнение почвы непосредственно в зоне максимального развития корневой системы с помощью точечных микроводовыпусков-капельниц. Режим увлажнения при капельном орошении согласуется с биологическими особенностями возделываемых культур и режимом водопотребления их в течение всего периода вегетации. Синхронизация режимов водоподачи с режимом водопотребления обеспечивает поддержание оптимального водного и воздушного режимов почвы, благодаря чему урожайность растений повышается в 1,5...2 раза при экономии оросительной воды на 30...50% и более. К достоинствам капельного орошения следует отнести широкие возможности по автоматизации процесса полива [3,8]. Фермерские и дехканские хозяйства (в основном), не имеют финансовой возможности для покупки и использования этой весьма дорогой системы орошения.

Одним из усовершенствованных способов поверхностного полива является разработанный учеными Таджикского аграрного университета им. Ш. Шотемур микробороздковый полив, позволяющий экономить воду до 30%. При этом орудие для нарезки микроборозд обходится намного дешевле капельной системы (около 200 долларов США комплект катков, имеющих ресурс работоспособности - около 10 000 га) [2, 11]. Этот способ можно использовать как переходный (по мере финансовых накоплений, фермер будет иметь возможность в дальнейшей работе перейти на капельное орошение).

Равномерное увлажнение и снижение поверхностного сброса можно обеспечить постепенным увеличением смоченной площади борозды по мере удаления от начала поливной площадки к ее концу.

Для снижения ирригационной эрозии необходимо уплотнить дно борозды и уменьшить его уклон. Для этого нужно найти возможность ограничения геометрических размеров борозды, которые были бы адекватны расчетным размерам струи. Так родилась в свое время идея перехода на микробороздковый полив [2, 4, 5, 11]. При выполнении микроборозд методом вдавливания уплотняется ее дно. В зависимости

от гранулометрического состава почвы, ширины междурядий и крутизны склона микроборозды могут выполняться прямолинейными, прямолинейными с боковыми лунками, зигзагообразными с постоянным или с монотонно увеличивающимся коэффициентом извилистости (рисунок 5.3) [2].

В Таджикистане бороздковым поливом орошается около 95% земель. К его недостаткам относятся неравномерное увлажнение по длине поливной борозды, а также большие поверхностные и глубинные сбросы, приводящие к смыву почвы. А с увеличением уклона поля они становятся все более ощутимыми.

За один полив вынос почвы составляет 1,6...31 т/га, а при 5...6 поливах 6,5...150 т/га [11].

Для экономии поливной нормы, значительного уменьшения эрозии почвы и равномерного увлажнения поля был разработан способ улучшения бороздкового полива земель. В междурядьях, по которым прошел трактор, одновременно с культивацией проводится вдавливание (нарезка) микроборозд для создания дополнительного сопротивления движению воды и уменьшения уклона за счет удлинения борозды в 1,5...3 раза.

Расчеты показали, что поперечное сечение микроборозды для пропуска на расчетную длину поливных струй расходом 0,03...0,20 л/с равно 2...10 см². Следовательно, выступ катка должен иметь высоту 20...60 мм [10].

Каток для нарезки микроборозд представляет собой стальной цилиндр диаметром 300...400 мм и шириной 200...600 мм. Он устанавливается на стойке и снабжается вилкой для крепления на оси стандартными замками, образуя грядилы к культиватору [2, 11].

При конструировании катков-бороздоделов учитывают ширину междурядий пропашных культур и размеры культивирующих рабочих органов трактора (рисунок 5.3).

Катки – бороздоделы предназначены для вдавливания поливных микроборозд на пропашных культурах (ширина междурядий 0,6 и 0,9 м) и в садах и виноградниках (ширина междурядий 2,5; 3,0 и 6,0 м).

При этой технологии рабочие органы разрыхляют почву в междурядьях на глубину до 15 см и на ширину несколько больше захвата катка. Идущие сзади катки, своей цилиндрической поверхностью, укатывают и слегка сглаживают полосу шириной 200...600 мм по центру междурядья, а выступы катков формируют прямолинейные или зигзагообразные микроборозды глубиной и шириной 3...5 см. Происходящее уплотнение дна и стенок микроборозд препятствует их размыву, способствует интенсивному впитыванию воды, и равномерному увлажнению почвы, как по ширине, так и по длине борозды [11].

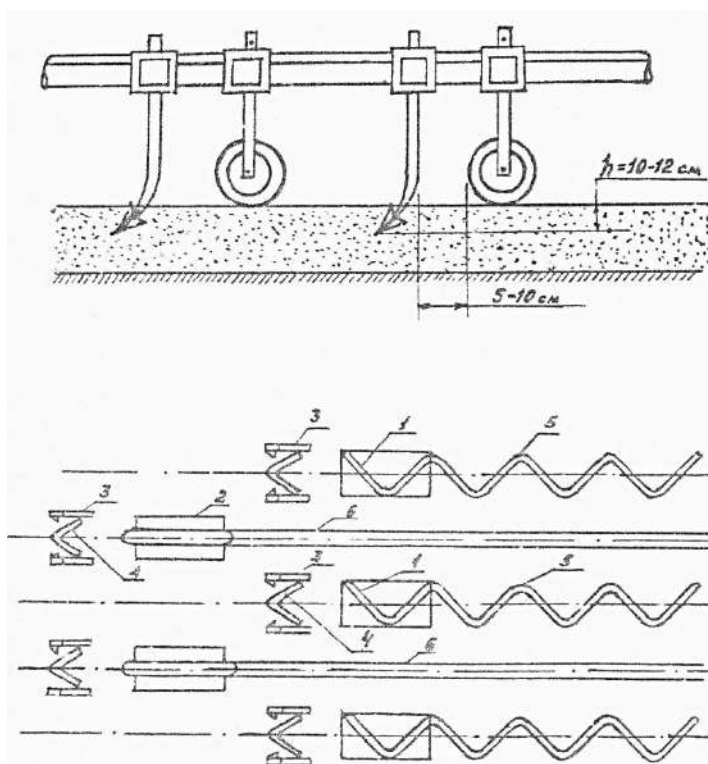


Рисунок 5.3 - Схема установки катков-бороздоделов на культиваторе:
1-катки с извилистыми выступами; 2-катки с прямолинейными выступами; 3-комплект культивирующих органов; 4-стрельчатые лапы; 5-извилистые микроборозды на междурядьях по осям колес трактора; 6-прямолинейные микроборозды между колесами трактора

Разработанное орудие состоит из катка с выступами, выравнивателя дна борозды и двуплечего рычага, которой передвигается вверх-вниз. На нижней стороне рычага установлены катки, работающие поочерёдно - при движении агрегата «туда» один каток и при движении «обратно» другой каток. Верхний рычаг крепится к раме, перевод катков в рабочее положение осуществляется с помощью гидроцилиндра, соединяющего низ рычага с рамой сельхозмашины. Орудие навешивается на культиватор вместо окучника.

При рабочем проходе машины рыхлящие лапы рыхлят почву, установленный за ними выравниватель формирует дно борозды, одновременно при движении машины в одну сторону с помощью гидроцилиндра приводится в рабочее положение соответствующий каток, а при движении в обратную сторону (после разворота) приводится в рабочее положение противоположный каток.

Так как полив по обычным бороздам является самым распространённым способом, и при этом нормы расхода воды весьма велики. В целях экономии воды нами предложено орудие, нарезающее микроборозды в виде «ёлочки», позволяющее подавать воду непосредственно к корневой системе растений [4, 5, 6]. Микроборозды нарезаются следующим образом: при длине гона $L = 600 \dots 900$ м между рядами растений нарезается микроборозда в виде

ёлочки, шириной - $b = 3...5$ см, глубиной - $a = 3...5$ см, в зависимости от гранулометрического состава почвы и от ширины междурядий возделываемой культуры [4-6, 9].

Основные недостатки существующих систем капельного орошения связаны с отсутствием устройств, обеспечивающих автоматическое управление поливным режимом. Подача воды капельницей осуществляется до тех пор, пока работает насосная станция и открыты запорные устройства.

Для устранения вышеуказанного недостатка нами предложено оснащать капельные системы орошения новым устройством [7], обеспечивающим автоматическое управление поливным режимом (рисунок 5.4). Устройство обеспечивает равномерное увлажнение почв с различным гранулометрическим составом, при этом повышается урожайность сельскохозяйственных культур, экономится до 50% оросительной воды, снижаются строительные, эксплуатационные затраты и себестоимость продукции, а также сокращаются сроки окупаемости предлагаемой системы орошения.

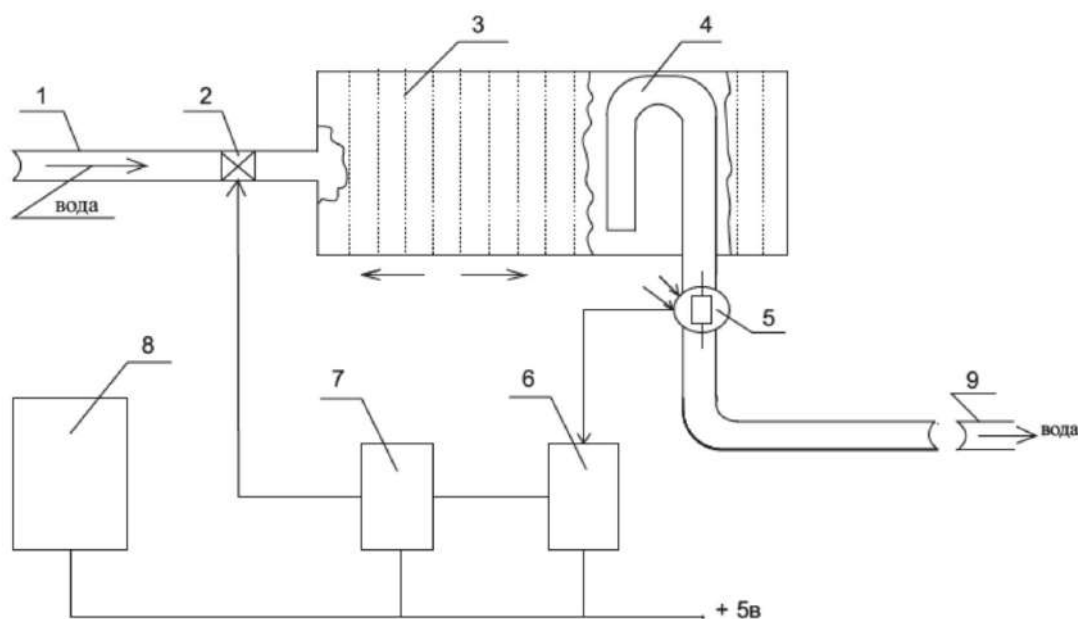


Рисунок 5.4 - Принципиальная схема регулирующего устройства системы капельного орошения:

1 - подающий водовод, 2 - электромагнитный клапан, 3 - гофрированная емкость (резервуар), 4 - сифон, 5 - фотоэлемент, 6 - транзисторный ключ, 7 - реле, 8 - солнечная батарея (аккумуляторная батарея 5а), 9 - подающий трубопровод к капельной сети

Управление поливным режимом достигается путем накопления воды в гофрированной емкости (резервуаре). Гофрированная емкость может изменять объем, то есть $V \neq \text{const}$, при этом объем подаваемой воды также изменяется и появляется возможность изменения нормы полива для

конкретных типов почв и сельскохозяйственных культур. С помощью этого устройства можно производить полив технических культур, овощей и бахчевых, а также садов и виноградников. Устройство по существу является универсальным [7].

Предлагаемое устройство работает следующим образом: при открытии водовода 1 с помощью электромагнитного клапана 2 вода начинает поступать в гофрированную емкость 3, далее при наполнении емкости 3, срабатывает сифон 4, подающий воду в капельную сеть 9. После опорожнения гофрированной емкости 3 срабатывает система фотоэлемента 5, которая дает команду через транзисторный ключ 6 и реле 7 на открытие электромагнитного клапана 2 и возобновление подачи воды в гофрированную емкость. По мере опорожнения гофрированной емкости рабочий цикл повторяется. Объем гофрированной емкости уменьшают или увеличивают, путем перемещения гофров по направлению стрелок в одну или другую сторону. Такое регулирование осуществляется в зависимости от типа, влагоемкости почвы и возделываемой сельскохозяйственной культуры.

Выводы. Существующая техника и технология полива сельскохозяйственных культур по обычным бороздам имеет весьма низкий коэффициент использования оросительной воды – 0,49, низкую производительность труда на поливе – 0,2...0,3 га/смену, не соответствует сложным почвенно-рельефным условиям, а также почва подвержена весьма сильной ирригационной эрозии - до 50 т/га в год.

На основе теоретических расчетов и проведенных экспериментов, нам удалось разработать несколько типов орудий для нарезки различных типов микроборозд и установить их параметры. Они кардинально отличаются от существующих, менее энергоемки и дают возможность улучшения качества полива.

Результаты исследований показывают, что при поливе по микробороздам поверхностный сброс снижается в 1,5...2,0 раза, а смыв почвы в 10...15 раз. Было установлено, что при крутизне склона 0,1...0,2 и размере струи 0,027...0,040 л/с смыв почвы практически не наблюдался и при этом выполнялось равномерное увлажнение борозды. Предлагаемое техническое решение позволяет экономить поливную воду примерно до 30% и поддерживать оптимальный температурный режим почвы.

Проведенные исследования показали своевременность разработки устройства для прерывистой подачи воды в капельную систему орошения, позволяющую обеспечить автоматическое управление поливным режимом и создающую условия для равномерного увлажнения почвы.

Список использованных источников

1. Доклад Евразийского банка развития (ЕАБР) «Продовольственная безопасность и раскрытие агропромышленного потенциала Евразийского региона», 2022.
2. Агеев Л.Е., Бахриев С.Х. – Эксплуатация энергонасыщенных тракторов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 271 с.
3. Багров М.Н., Кружилин И.П.- Прогрессивная технология орошения сельскохозяйственных культур. -М.: Колос, 1980. - 208 с.
4. Бахриев С.Х. и др. Рабочий орган для нарезки борозд на склонах. Патент РФ от 06.01.87 г. Зарегистрировано в госреестре изобретений 27.08.1993 г. Действует с 27.08.1993 г. Опубликовано 23.08.89 г. Бюл. № 31.
5. Бахриев С.Х. и др. Способ полива растений по микроборозде. Малый патент № TJ 834, от 08.04.2016, бюл. 127, 2017.
6. Бахриев С.Х. и др. Устройство для нарезки поливных микроборозд. Малый патент № TJ 1034, от 11.09.2018, бюл. 154, 2019.
7. Бахриев С.Х. и др. Устройство для прерывистой подачи воды в капельную сеть. Малый патент № TJ 1526, от 17.02.2023, бюл. 210, 2024.
8. Бюллетень «Изобретение в СССР и за рубежом», патент США № 3777980.
9. Бахриев С.Х. и др. Технология полива сельскохозяйственных культур по микробороздам. Международная науч.-практич. Конферен. «Комплексное использование водно-энергетических ресурсов Центральной Азии в условиях глобального изменения климата». Душанбе, Таджикистан, 3-4 декабря 2020 г. – С.75-80.
10. Лурье А.Б. и др. Сельскохозяйственные машины. – Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1983. -383с.
11. Нурматов Н.К. Технология орошения сельскохозяйственных культур на склоновых землях. - Душанбе: Ирфон, 1991. - 372с.
12. Пулатов Я.Э. и др. Рекомендации по применению технологии капельного орошения сельскохозяйственных культур, Душанбе: 2014.

References

1. Report of the Eurasian Development Bank (EDB) "Food security and the disclosure of the agro-industrial potential of the Eurasian region", 2022.
2. Ageev L.E., Bakhriev S.H. - Operation of energy-saturated tractors. – M.: Agropromizdat, 1991. – 271 p.
3. Bagrov M.N., Kruzhilin I.P. Progressive technology of irrigation of agricultural crops. Moscow: Kolos, 1980. - 208 p.
4. Bakhriev S.Kh. et al. A working tool for cutting furrows on slopes. The patent of the Russian Federation dated 06.01.87 was registered in the State Register of Inventions on 27.08.1993. Valid from 08.27.1993. Published 08.23.89. Bul. No. 31.
5. Bakhriev S.Kh. and others. The method of watering plants by microbrowth. Small patent No. TJ 834, dated 08.04.2016, byul. 127, 2017.
6. Bakhriev S.Kh. et al. A device for cutting irrigation microbeads. Small patent No. TJ 1034, dated 11.09.2018, byul. 154, 2019.
7. Bakhriev S.Kh. et al. A device for intermittent water supply to the drip network. Small patent No. TJ 1526, dated 02/17/2023, byul. 210, 2024.
8. Bulletin "Invention in the USSR and abroad", US Patent No. 3777980.

9. Bakhriev S.Kh. and others. Technology of irrigation of agricultural crops by microburrows. International scientific and practical The conference. "Integrated use of water and energy resources in Central Asia in the context of global climate change." Dushanbe, Tajikistan, December 3-4, 2020, pp. 75-80.
10. Lurie A.B. et al. Agricultural machines. – L.: Kolos. Leningr. publishing house, 1983. - 383 p.
11. Nurmatov N.K. Technology of irrigation of agricultural crops on sloping lands. - Dushanbe: Irfon, 1991. - 372 p.
12. Pulatov Ya.E. et al. Recommendations for the use of drip irrigation technology for agricultural crops, Dushanbe: 2014.

5.3 ПРИМЕНЕНИЕ НОРМАЛИЗОВАННОГО РАЗНОСТНОГО ИНДЕКСА ВЛАЖНОСТИ (NDMI) В АЛГОРИТМАХ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМ СТРЕССОМ АГРОЦЕНОЗОВ

Современное орошаемое земледелие сталкивается с необходимостью радикального пересмотра подходов к распределению водных ресурсов ввиду их растущего дефицита и нестабильности погодных условий. Традиционные методы оценки потребности растений в поливе, базирующиеся на расчете эвапотранспирации по метеоданным или дискретном измерении влажности почвы, часто не учитывают фактическое физиологическое состояние растительного покрова на микроуровне поля [1]. В этом контексте технологии дистанционного зондирования Земли предоставляют уникальные возможности для неразрушающего контроля состояния посевов, позволяя прецизионно определять локации, испытывающие дефицит увлажнения. Среди широкого спектра аналитических инструментов особое место занимает нормализованный разностный индекс влажности (NDMI), который, в отличие от чисто вегетационных индексов, напрямую коррелирует с содержанием жидкой воды в растительных тканях [2].

Использование спектральных каналов в ближнем и коротковолновом инфракрасном диапазонах позволяет индексу NDMI эффективно фиксировать изменения в структуре мезофилла листа, происходящие при снижении тургора. Это делает данный показатель незаменимым для раннего обнаружения водного стресса, когда визуальные изменения биомассы еще не проявлены, но метаболические процессы уже замедлены из-за нехватки влаги [3]. Инновационность данного подхода заключается в возможности перехода от календарного планирования орошения к адаптивному управлению, основанному на данных спутникового мониторинга высокого разрешения, таких как снимки миссий Sentinel-2 или Landsat. Интеграция индекса NDMI в производственные циклы агропредприятий позволяет минимизировать

непроизводительные потери воды и предотвращать деградацию почв, связанную с избыточным увлажнением и последующим засолением [4].

Целью настоящего исследования является научное обоснование эффективности индекса NDMI как ключевого предиктора для принятия решений в системах автоматизированного орошения. Для достижения этой цели в работе решаются задачи по анализу динамики спектрального отклика растений в условиях варьирующего водного режима, изучению взаимосвязи между значениями индекса и физиологическими показателями влагообеспеченности, а также разработке методики дифференцированного полива на основе пространственных карт влажности листового аппарата. Рассматриваемые подходы направлены на создание устойчивых технологических карт орошаемого земледелия, способных гибко реагировать на динамику водопотребления сельскохозяйственных культур.

Методологическая база исследования построена на использовании многозональных данных дистанционного зондирования, полученных с орбитальной группировки Sentinel-2 (программа Copernicus). Объектом исследования послужило сельскохозяйственное поле, расположенное в Ростовской области, на котором в вегетационный период 2025 года осуществлялось возделывание кукурузы в условиях искусственного орошения. Временной охват исследования составил период с 3 июня по 3 октября 2025 года, что позволило зафиксировать состояние посевов на протяжении ключевых этапов онтогенеза культуры [5]. Для формирования исходного массива данных производился отбор спутниковых снимков с минимальной облачностью, прошедших предварительную обработку и атмосферную коррекцию по алгоритму Sen2Cor (уровень обработки Level-2A).

Основным инструментом оценки влагообеспеченности посевов кукурузы был выбран нормализованный разностный индекс влажности (NDMI). Расчет данного показателя выполнялся на основе взаимодействия восьмого канала (NIR, ближний инфракрасный диапазон) и одиннадцатого канала (SWIR, коротковолновый инфракрасный диапазон), который обладает избирательной чувствительностью к содержанию воды в листовом аппарате и структуре мезофилла [6]. Технологический процесс обработки растровой информации реализовывался в геоинформационной системе QGIS. С помощью встроенного модуля растрового калькулятора производилось построение карт индекса для каждой даты съемки, после чего выполнялась экстракция численных показателей через алгоритм зональной статистики [7].

В качестве расчетных единиц для каждого временного среза определялись медианные значения индекса, а также показатели

вариативности: стандартное отклонение, минимальные и максимальные значения в пределах границ исследуемого участка. Медиана использовалась как наиболее устойчивый показатель центральной тенденции, позволяющий нивелировать влияние артефактов съемки и краевых эффектов поля [8]. Применение статистического инструментария QGIS позволило сформировать упорядоченный временной ряд данных, отражающий пространственно-временную динамику увлажненности агроценоза.

На основе данных, полученных в ходе мониторинга посевов кукурузы в Ростовской области в 2025 году, был проведен комплексный анализ динамики индекса NDMI. Результаты статистической обработки отражают характерные изменения водного статуса растений и проективного покрытия почвы на протяжении всего вегетационного периода. Сводные данные, включающие медианные значения, показатели вариативности и экстремальные значения индекса для каждой даты наблюдения, систематизированы и представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Статистические данные индекса NDMI по полю

Дата	Медиана	Стандартное отклонение	Минимум	Максимум
3 июня	-0,24	0,02	-0,27	0,06
10 июня	-0,18	0,02	-0,22	0,05
17 июня	-0,01	0,03	-0,14	0,12
28 июня	0,18	0,03	-0,03	0,25
3 июля	0,28	0,05	-0,04	0,34
10 июля	0,20	0,05	-0,07	0,29
18 июля	0,17	0,08	-0,12	0,36
30 июля	0,20	0,08	-0,09	0,37
6 августа	0,19	0,09	-0,11	0,36
12 августа	0,24	0,08	-0,08	0,38
22 августа	0,21	0,08	-0,10	0,36
1 сентября	0,18	0,07	-0,10	0,34
15 сентября	0,14	0,06	-0,09	0,30
28 сентября	0,06	0,05	-0,12	0,24
3 октября	0,06	0,03	-0,07	0,18

Анализ временного ряда начался с июня, когда медианные значения индекса находились в отрицательном диапазоне, составляя на 3 июня -0,24. Такое состояние объясняется преобладанием спектрального сигнала от открытой почвы и низкой биомассой всходов кукурузы, что характерно для

начальных этапов вегетации. К середине июня наблюдалась тенденция к росту индекса до $-0,01$, что свидетельствовало об активном наращивании вегетативной массы и постепенном перекрытии междурядий. Переломный момент зафиксирован 28 июня, когда индекс перешел в положительную зону, достигнув значения $0,18$, что подтверждает достаточное насыщение тканей растений влагой и переход культуры в фазу интенсивного роста.

Пик водопотребления и максимальной увлажненности листового аппарата пришелся на начало июля, когда медианное значение NDMI достигло своего максимума – $0,28$. Этот период совпадает с критическими фазами развития кукурузы в условиях орошения, когда потребность в воде наиболее высока. В течение июля и августа значения индекса стабилизировались в диапазоне от $0,17$ до $0,24$, что указывает на эффективность применяемых поливных режимов и поддержание стабильного водного баланса в агроценозе. Примечательно, что именно в этот период зафиксировано увеличение стандартного отклонения до $0,08...0,09$. Это свидетельствует о нарастании пространственной неоднородности поля: отдельные участки сохраняли высокую влажность, в то время как на других начинали проявляться признаки микрозонального дефицита влаги или различия в темпах созревания.

Заключительный этап наблюдений в сентябре и октябре характеризуется закономерным снижением индекса NDMI до уровня $0,06$. Данный спад связан с естественными процессами старения растений, оттоком влаги из листьев к зерну и снижением тургора в период созревания. Сужение диапазона между минимальными и максимальными значениями к октябрю, а также снижение стандартного отклонения до $0,03$ указывают на выравнивание спектральных характеристик поля по мере высыхания культуры перед уборкой. Таким образом, полученные результаты подтверждают высокую чувствительность индекса NDMI к фенологическим изменениям кукурузы и его пригодность для оперативного контроля качества орошения.

Выводы. На основании проведенного анализа динамики индекса NDMI для посевов кукурузы в 2025 году можно сделать ряд значимых выводов о применимости дистанционного зондирования в мелиорации. Прежде всего, подтверждена высокая информативность индекса NDMI как индикатора реального содержания влаги в растительном покрове, что позволило четко дифференцировать фазы развития культуры от начального наращивания биомассы до полной спелости. Переход медианных значений из отрицательной области в положительную в конце июня стал надежным маркером смыкания рядков и формирования полноценного агрофитоценоза, готового к интенсивному водопотреблению.

Выявленный в ходе исследования пик значений индекса в июле (0,28) наглядно демонстрирует период максимальной физиологической активности кукурузы, что позволяет использовать данные Sentinel-2 для верификации качества работы оросительных систем в критические фазы вегетации. Установлено, что нарастание стандартного отклонения в середине сезона до 0,09 является важным диагностическим признаком, указывающим на возникновение пространственной неоднородности увлажнения. Это открывает возможности для перехода от равномерного полива к дифференцированному внесению водных норм на основе актуальных карт влажности, полученных из спутниковых снимков.

В конечном итоге, использование программного комплекса QGIS для обработки данных зональной статистики позволяет трансформировать разрозненные спутниковые данные в структурированные временные ряды, пригодные для принятия управленческих решений. Опыт мониторинга в Ростовской области показал, что автоматизированный расчет индекса NDMI является эффективным инструментом контроля за состоянием орошаемых земель, обеспечивающим баланс между потребностями растений и рациональным использованием водных ресурсов. Дальнейшее развитие методики может быть связано с интеграцией данных NDMI в автоматизированные системы управления поливом для минимизации человеческого фактора в процессе мелиорации.

Список использованных источников

1. Ториков В. Е., Байдакова Е. В., Капошко Н. А. Проблема распределения гидрометеорологических факторов и их влияние на режим орошения и урожайность // Вестник ФГОУ ВПО Брянская ГСХА. 2020. №1 (77).
2. Железова С. В. Научно-методическое обоснование технологий точного и ресурсосберегающего земледелия для зерновых культур в Нечернозёмной зоне РФ //М.: РГАУ-МСХА имени КА Тимирязева. – 2020.
3. Зверьков М. С., Смелова С. С., Брыль С. В., Степанова Т. Г., Булгакова Т. Г. Анализ индекса NDMI при дешифрировании спутниковых снимков орошаемых земель // Мелиорация и Водное Хозяйство. 2025. №3.
4. Антонов С. А., Скрипчинский А. В. Использование данных дистанционного зондирования для многолетнего мониторинга за состоянием агроландшафтов // Наука. Инновации. Технологии. 2018. №2.
5. Мартынова Наталья Григорьевна, Кравченко Виктория Григорьевна Мониторинг сельскохозяйственных земель по данным дистанционного зондирования земли // IACSJ. 2023. №1.
6. Морозова В. А. Расчет индексов для выявления и анализа характеристик водных объектов с помощью данных дистанционного зондирования //Современные проблемы территориального развития – 2019. – № 2.

7. Потапенко И. А., Якименко В. В., Пашковская О.В. Свободная кроссплатформенная геоинформационная система QGIS // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2020.
8. Андреева, Е. С. Анализ и интерпретация данных: основные методы и инструменты // Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом, 2023. – С. 160-163.

References

1. Torikov V. E., Baidakova E. V., Kaposhko N. A. The problem of distribution of hydrometeorological factors and their influence on irrigation regime and yield // Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. 2020. №1 (77).
2. Zhelezova S. V. Scientific and methodological substantiation of precision and resource-saving farming technologies for grain crops in Russia In the non-Chernozem zone of the Russian Federation // Moscow: RGAU-Moscow Agricultural Academy named after KA Timiryazev. 2020.
3. Zverkov M. S., Smelova S. S., Bryl S. V., Stepanova T. G., Bulgakova T. G. Analysis of the NDMI index when decoding satellite images of irrigated lands // Land Reclamation and Water Management. 2025. №3.
4. Antonov S. A., Skripchinsky A.V. The use of remote sensing data for long-term monitoring of the state of agricultural landscapes // Science. Innovation. Technologies. 2018. No.2.
5. Martynova Natalia Grigorievna, Kravchenko Victoria Grigorievna Monitoring of agricultural lands using remote sensing data // IACJ. 2023. No. 1.
6. Morozova V. A. Calculation of indices for identification and analysis of characteristics of water bodies using remote sensing data // Modern problems of territorial development – 2019. – No. 2.
7. Potapenko I. A., Yakimenko V. V., Pashkovskaya O.V. Free cross-platform geoinformation system QGIS // Actual problems of aviation and cosmonautics. 2020.
8. Andreeva, E. S. Data analysis and interpretation: basic methods and tools // Mobile business: prospects for the development and implementation of radio communication systems in Russia and abroad, 2023, pp. 160-163.

5.4 АДАПТИВНАЯ СТРАТЕГИЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

К 2050 году население мира увеличится на треть, причем самым большим будет прирост в развивающихся странах. Для удовлетворения растущего спроса на продовольствие и корма масштабы сельскохозяйственного производства придется увеличить на 60 процентов.

Известно, что в России дефицит атмосферных осадков приходится на 80% площади земель, используемых в сельском хозяйстве, свыше 10% пахотных земель находится в зоне избыточного увлажнения. Как в засушливые, так и в избыточно влажные годы не реализуется потенциал высокопродуктивных сортов сельскохозяйственных культур, интенсивных аграрных технологий.

Для примера, в неблагоприятный засушливый 2010 год валовой сбор зерна в России составил 61 млн тонн. В благоприятных по условиям

увлажнения 2008 году – 108 млн тонн, в 2016 году – 119 млн тонн, в 2017 году – 131 млн тонн.

Дальнейшее увеличение производства сельскохозяйственной продукции возможно за счет дополнительного орошения.

Мелиорация – ключевой фактор предотвращения неблагоприятного воздействия климатических изменений и стабилизации сельскохозяйственного производства. На мелиорируемых землях выращивается весь рис, до 65% овощей и картофеля, около 20% кормов и другой продукции сельского хозяйства.

В работе использованы сравнительный и статистический методы исследований. В результате проведенного ретроспективного анализа систематизирован материал по эффективности использования орошаемых площадей в Российской Федерации.

В Российской Федерации орошение в зонах неустойчивого и недостаточного увлажнения является одним из основных факторов повышения продуктивности пашни. Однако, интенсивность использования орошаемых площадей и их эффективность оставляет желать лучшего.

В странах развитого орошения эффективность одного гектара составляет 1:4...5 в сравнении с неорошаемой площадью. В условиях Краснодарского края этот показатель составляет 1:1,5...2.

В этой связи, орошение очень часто становится убыточным. Большое значение в решении вопроса эффективности орошаемого гектара имеет индекс повышения использования орошаемой пашни с помощью внедрения в севооборот повторных культур для получения двух урожаев в год.

В условиях Краснодарского края оптимальным индексом является 1,3 – 30% севооборотной площади должно быть засеяно повторными культурами.

Для полевых и кормовых севооборотов можно предложить в качестве пожнивных и поукосных посевов: после озимых колосовых, гороха, зеленого горошка – кукурузу, сою и гречиху. При использовании ультраскороспелых и скороспелых гибридов и сортов, учитывая продолжительный вегетационный период в крае, можно получить второй урожай этих культур.

В овощных севооборотах для повторных посевов рекомендуются: огурцы летнего посева, картофель летней посадки, капуста поздняя, сахарная кукуруза, зеленные культуры (лук на перо, укроп, кинза, петрушка и т.д.).

Краснодарский край - основной рисопроизводящий регион в Российской Федерации с общей площадью рисовой оросительной системы 234,4 тыс. га. Ежегодно рис выращивается на площади 130...135 тыс. га с насыщением севооборота рисом около 60%. [5].

В условиях рисовых севооборотов промежуточные культуры способствуют улучшению физико-химических процессов в почве,

предупреждению засоления. По данным многих авторов (П.П. Паримуфра, В.И. Поваленко, Е.Г. Горелова, В.А. Масливец и др.) рекомендуются зимние промежуточные культуры между двумя посевами риса: зимующий горох, рожь, ячмень озимый, горчица, рапс [6].

Эти зимостойкие культуры способны быстро отрастать в ранневесенний период. В ФГБУ РПЗ «Красноармейский им. А.И. Майстренко – филиале ФГБНУ «ФНЦ риса» – был заложен опыт по выращиванию риса в повторном посеве после рано убираемого озимого ячменя. Урожайность риса при повторном посеве составила 62 ц/га. Для усиления роли агротехнических приемов в борьбе с сорными растениями учеными Федерального научного центра риса разработана 8-польная схема севооборота с 62,5%-ным насыщением рисом: 1, 2 поле – многолетние травы (люцерна или клевер в низких чеках); 3, 4, 5-е – рис; 6-е – занятый пар (однолетние травы или зернобобовые); 7, 8-е поля – рис [1]. Посев сортов риса интенсивного типа с высокой конкурентной способностью и толерантностью к вредителям и болезням, а также различные приемы обогащения почвы органическим веществом (внесение органических удобрений, посев однолетних и многолетних бобовых трав с использованием на зеленый корм или в качестве сидерата способствует экологичному оздоровлению орошаемых земель [4].

Большое значение в системе рисовых севооборотов Северного Кавказа имеют и летние промежуточные культуры: кукуруза на зерно, соя, позволяющие получать два урожая зерна в занятом пару после озимой пшеницы и ячменя. Применение промежуточных культур создает благоприятные условия для повышения плодородия рисовых почв. К моменту сева риса заделка в почву зеленой массы озимой ржи в количестве 29,4 т/га обеспечивает 10,2 т органического вещества, которое пополняет почву азотом, фосфором и калием. Повторные культуры не только повышают продуктивность орошаемых площадей, но и предотвращают их деградацию. В орошаемой пашне круговорот органического вещества ускоряется в 2...2,5 раза, так как микробиологическая активность почвы повышена. Особенно значительно дегумификация почвы проявляется при отсутствии растительного покрова.

Орошаемые площади круглый год должны быть зелеными с помощью повторных посевов, что позволит сохранить баланс гумуса и плодородие чернозема. Применение повторных посевов в орошаемых условиях способствует также снижению степени засоренности этих земель, обеспечивает уменьшение количества применяемых гербицидов, что положительно сказывается на качестве продукции и окружающей среде.

Для повышения эффективности орошаемых площадей большое значение имеют промежуточные культуры, как в полевых, так и в специализированных севооборотах, используемые в качестве сидератов: злаково-бобовые травосмеси, горох зимующий, люпин, горчица белая и т.д. Эти культуры при заделке в почву обеспечивают повышение биогенности, улучшение агрофизических свойств почвы, стабилизируют плодородие.

Практически все выращиваемые повторные и промежуточные культуры в орошаемых севооборотах оказывают положительное влияние на структуру почвы. По данным КубГАУ (Джулай А.И., Василько В.П., Огиенко В.Д и др.) в активном корнеобитаемом слое почвы увеличивается количество крупных агрономически ценных агрегатов от 10 до 3 мм и уменьшается количество пылеватых частиц от 1 до 0,25 мм. Это способствует снижению плотности сложения почвы до 1,18...1,25 г/см³ (опт для большинства культур, промежуточные культуры снижают этот показатель на 0,03...0,06 г/см³) [2].

В целом улучшение плодородия орошаемой пашни с помощью повторных культур обеспечивает оптимизацию водно-воздушного и пищевого режима основных культур и повышает их продуктивность.

В рисовых севооборотах целесообразно выполнение мероприятий по снижению оросительной нормы.

Основные мероприятия по снижению оросительной нормы:

- планировка рисовых чеков с точностью $\pm 2...3$ см (предусмотреть возможность субсидирования этой операции, т.к. затраты на ее проведение составляют ≈ 15 тыс. руб./га);
- автоматизация управления водным режимом рисовых чеков (установка гидроавтоматов);
- внедрение системы персонифицированного учета воды;
- импульсное (периодическое) орошение.

Современное развитие рисоводческой отрасли Краснодарского края и в целом Российской Федерации характеризуется переходом от традиционных методов проектирования и эксплуатации оросительных систем к созданию рисовых агроландшафтов, основанных на принципах прецизионного земледелия и отвечающих требованиям экологической устойчивости, экономической целесообразности, а также социально-экономическим интересам [3].

В последнее время в Волгоградской области и на Дальнем Востоке большое внимание уделяют разработке технологий возделывания аэробного риса, возделываемого на поливе, в т.ч. капельном. Первые в Российской Федерации исследования по эффективности использования на рисовых

системах капельного орошения культур рисового севооборота были проведены во ВНИИ риса совместно с компанией «Netafim» в 2006 г.

В 2025 году на базе уникальной научной установки «Гидрологический комплекс ФНЦ агроэкологии РАН им. Н.Ф. Кулика» совместно с ФГБНУ «ФНЦ риса» была создана лизиметрическая модель рисового поля. Лизиметр, на котором проводился вегетационный опыт с рисом, преимущественно песчаного гранулометрического состава. Лизиметр оснащен датчиком уровня грунтовых вод с высокочувствительным пьезорезистивным сенсором. Данные о количестве осадков собирались при помощи автоматических осадкомеров «Rain-O-Matic Meteorological Snow&Rain». Регистрация внутригрунтового стока осуществлялась с использованием малых осадкомеров в подземной галерее.

Подготовку почвы, уход за растениями осуществлялся с учетом рекомендаций по возделыванию риса. Для поддержания уровня питательных веществ в почве, было проведено предпосевное внесение аммиачной селитры (150 кг/га). Посев семян проводился 24-25 апреля. Семена высеивали вручную. Глубина заделки – 1,5 см. Норма высева семян 4 млн шт./га.

Для стимуляции роста растений 29 мая было внесено органическое удобрение – гумат калия (0,25 л/га) и биостимулятор – биостим (1 л/га); для защиты от грибковых заболеваний – фунгицид беназол (0,4 кг/га); 24 июня была внесена аммиачная селитра из расчета 150 кг/га.

В приходной части водного баланса осадки составили 168,2 мм (22% от приходной части), орошение – 612,2 мм (78%).

Орошение производилось в период падения уровня грунтовых вод на 40...80 см от дневной поверхности. Количество подаваемой воды изменялось от 11 до 63 мм в зависимости от интенсивности транспирации.

В расходной части водного баланса эвапотранспирация составила 689,5 мм, гравитационный сток – 90,9 мм (таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Водный баланс имитационной модели рисового поля

Осадки, мм	Орошение, мм	Гравитационный сток, мм	Эвапотранспирация, мм
168,2	612,2	90,9	689,5

Было установлено, что максимальный расход воды на эватранспирацию пришелся на период колошения и при наливе зерна. Согласно литературным данным [Тулякова, 1973] расход воды на транспирацию составляет около 50% от суммарного водопотребления. Соответственно транспирация риса на лизиметрической модели составила около 345 мм за период вегетации.

Расход воды на эвапотранспирацию и внутригрунтовый сток отражает динамика уровня воды, регистрируемого погружным пьезометрическим датчиком. Отмечались периоды более активного расхода воды, при которых суточное снижение уровня грунтовых вод могло достигать 35 см (рисунок 5.5).

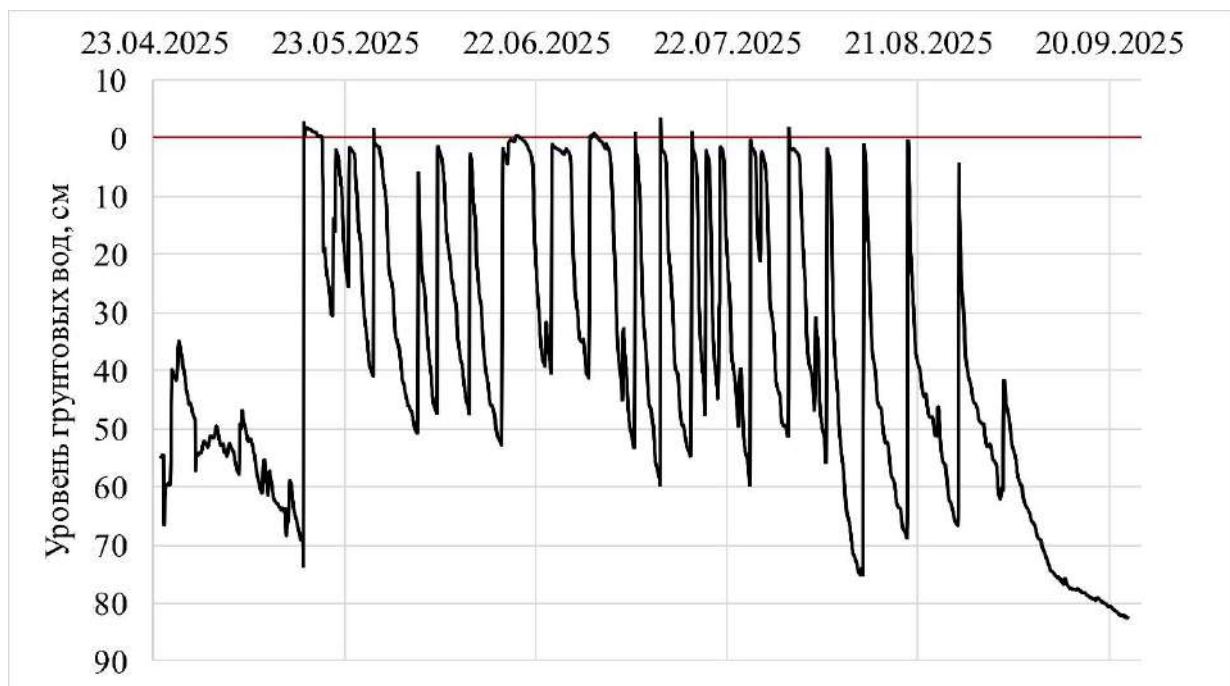


Рисунок 5.5 – Динамика уровня грунтовых вод

Как видно из графика, активное водопотребление растениями начиналось после падения уровня воды ниже дневной поверхности.

Общая продолжительность вегетационного опыта составила 151 день. Сбор урожая осуществлялся 22-23 сентября. Урожайность риса сорта Каурис составила 63 ц/га, сорта Рапан-2 – 46 ц/га.

Полученные данные позволяют утверждать, что отказ от затопляемой культуры в пользу орошения приведет к снижению урожайности, качества зерна (снижение стекловидности), а также снижению экономической эффективности выращивания риса.

Учитывая, что Краснодарский край является житницей страны, более чем половина площадей относится к зоне недостаточного и неустойчивого увлажнения, то решение продовольственной программы целиком и полностью зависит от орошения. Площадь орошаемых земель в Краснодарском крае в доперестроечный период составляла 470...480 тыс. га, из них под рис – 235 тыс. га, остальные под кормовыми и овощными культурами.

Для эффективности выращивания риса и других культур в условиях орошения необходимо осуществить:

1. Подбор культур для орошения и наличие почвоохранных севооборотов.

Для орошения необходимо подбирать культуры, критические периоды которых по водопотреблению совпадают с самыми неблагоприятными условиями в крае и которые очень резко снижают урожайность – сахарная свекла, кукуруза, овощи. Поэтому нужно вводить специализированные севообороты: овощные, кормовые, рисовые.

2. Не все сорта и гибриды вышеперечисленных культур применимы для орошения и эффективность зависит от правильного их подбора.

В орошаемых условиях мы должны подбирать сорта с самым высоким биологическим потенциалом, которые могут его реализовать. Чаще всего с продолжительным вегетационным периодом или ультраскороспелые сорта и гибриды с целью получения двух урожаев в год.

В орошаемых севооборотах пониженный индекс использования севооборотной площади. Поэтому в таких севооборотах в различных агроландшафтных зонах целесообразно применять повторные и промежуточные культуры. Применение их значительно увеличивает индекс использования пашни и в целом повышает эффективность орошаемого земледелия.

3. Обязательным условием повышения эффективности орошения является технология возделывания культур, которая должна разрабатываться с учетом оптимального водоснабжения, т.е. необходимо сбалансировать водный, питательный и воздушный режимы почвы. С этой целью в крае наработана технология обеспечения высокой продуктивности овощных, кормовых культур. Но для этого необходимо вносить в 2 раза больше минеральных удобрений. Обязательно вносить органические удобрения не менее 100 тонн на 1 га севооборотной площади, заделывать корнепожнивные остатки. Минеральные удобрения необходимо вносить дробно: 3/4 фосфорных и калийных - под основную обработку почвы, 1/3 азотных под основную обработку, остальное в подкормки. Особое значение в технологии возделывания культур на поливе имеет обработка почвы, которая должна обеспечивать разуплотнение активного корнеобитаемого слоя почвы. Хотя бы 1...2 раза в ротацию необходимо проводить чизелевание на глубину 30...35 см, глубокое рыхление на 40...60 см, иначе трудно сбалансировать водно-воздушный режим и сохранить эффективность орошения.

4. Учитывая, что орошение, несмотря на все его положительные свойства, оказывает отрицательное воздействие на плодородие черноземных почв, для повышения эффективности и продуктивности орошения необходимо

развитие и внедрение почвоохранных севооборотов, обеспечивающих положительный баланс гумуса. В них должны обязательно присутствовать многолетние бобовые травы, независимо от направленности севооборота. Доля многолетних трав обеспечивает сохранность почвы в зависимости от качества оросительной воды. В условиях Краснодарского края орошение ведется из реки Кубань, где вода пресная, а около половины площади - стоки местных рек Ея, Челбас, Бейсуг, Бейсужок, где вода относится к 3 классу I группы. То есть вода имеет повышенное содержание солей и может вызвать вторичное засоление. Такое же засоление прослеживается в скважинах, откуда ведется полив в КФХ и ЛПХ. Это существенно снижает эффективность орошения и очень опасно для плодородия кубанского чернозема.

5. Особое значение для повышения эффективности орошения имеет правильный подбор оросительной техники - дождевальных установок. В крае путем постоянного затопления выращивается только рис, а остальные площади сельскохозяйственных культур выращиваются на поливе дождеванием и на капельном орошении. Чтобы не допустить резкого ухудшения агрофизического состояния почвы (переувлажнение, разрушение) необходимо подбирать дождевальные установки с минимальной интенсивностью дождя, предельный допуск 0,1 мм в минуту, а в крае до сих пор поливают дождевальными машинами с допуском от 0,33 до 2 мм в минуту. Это разрушает почву. Чтобы не снижать продуктивность, нужно учитывать не только почвенную, но и воздушную засуху. Этого можно добиться только дождеванием, так как капельный полив снимает почвенную засуху, но не воздушную. Капельное орошение непригодно для полива минерализованной водой.

Выводы. Орошение, безусловно, необходимо развивать в Российской Федерации, особенно для тех культур, о которых упоминалось ранее, но мы должны понимать, что при низкой эффективности оно будет убыточным.

В условиях глобального политического и экономического противостояния, развития экологического кризиса, выбор и осуществление стратегии развития мелиорации сельскохозяйственных земель не могут быть отданы на уровень субъектов Российской Федерации или частных инвесторов. При разработке программы восстановления и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года и долгосрочных перспектив до 2050 года решение возможно только на государственном уровне с учетом региональных особенностей развития сельского хозяйства, технического состояния и уровня мелиоративных систем, фактического использования и экологического состояния мелиорированных земель.

Список использованных источников

1. Агарков, В.Д. Агротехнические требования и нормативы в рисоводстве / В.Д. Агарков, А.Ч. Уджуху. - Краснодар, 2006 г. – 96 с.
2. Василько, В.П. Продуктивность культур в орошаемом агроландшафте в зависимости от системы основной обработки почвы и удобрений / В.П. Василько, А.И. Радионов, В.Н. Герасименко [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. - 2018. - № 141 (07).
3. Есаулова, Л.В. Почвенно-мелиоративная и фитосанитарная обстановки в рисоводческой отрасли Краснодарского края / Л.В. Есаулова // Материалы I Международной научно-практической конференции молодых ученых и аспирантов «Научное обеспечение инновационных технологий производства и хранения сельскохозяйственной и пищевой продукции», 9-23 апреля 2018г. - г. Краснодар: ВНИИТТИ, 2018. - С. 91-95.
4. Зеленский, Г.Л. Прометей естествознания / Г.Л. Зеленский // Рисоводство. – 2007. - Вып. 11. – С. 86-90.
5. Коробка, А.Н. Система земледелия Краснодарского края на агроландшафтной основе / А.Н. Коробка, С.Ю. Орленко, Е.В. Алексеенко [и др.]. - Краснодар, 2015 - 352 с.
6. Масливец, В.А. Промежуточные посевы — фактор биологизированного рисоводства / В.А. Масливец, В.Н. Герасименко, С.А. Макаренко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. - № 103 (09).

References

1. Agarkov, V.D. Agrotechnical requirements and standards in rice farming / V.D. Agarkov, A.Ch. Ujuhu. Krasnodar, 2006, 96 p.
2. Vasilko, V.P. Productivity of crops in an irrigated agricultural landscape depending on the system of basic tillage and fertilizers / V.P. Vasilko, A.I. Radionov, V.N. Gerasimenko [et al.] // Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University [Electronic resource]. - 2018. - № 141 (07).
3. Esaulova, L.V. Soil reclamation and phytosanitary conditions in the rice industry of the Krasnodar Territory / L.V. Esaulova // Proceedings of the I International Scientific and practical Conference of young scientists and graduate students "Scientific support of innovative technologies for the production and storage of agricultural and food products", April 9-23, 2018 - Krasnodar: VNIITTI, 2018. - Pp. 91-95.
4. Zelensky, G.L. Prometheus of natural science / G.L. Zelensky // Rice farming. – 2007. - Issue 11. – pp. 86-90.
5. Korobka, A.N. The system of agriculture of the Krasnodar Territory on an agro-landscape basis / A.N. Korobka, S.Y. Orlenko, E.V. Alekseenko [et al.]. - Krasnodar, 2015 - 352 p.
6. Maslivets, V.A. Intermediate crops — a factor of biologized rice farming / V.A. Maslivets, V.N. Gerasimenko, S.A. Makarenko // Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University [Electronic resource]. – Krasnodar: KubGAU, 2014. - № 103 (09).

5.5 РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ БИОЛОГИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ

Существенный вклад в увеличение сбора картофеля вносит применяемая агротехника, в том числе препараты для защиты растений от болезней и вредителей. Способы защиты картофеля от болезней и вредителей подразумевают применение, как химических, так и биологических препаратов, оказывающих прямое воздействие на биометрические показатели растений картофеля, продуктивность, способность клубней к длительному хранению [1, 7]. Исследования многих ученых позволяют сделать вывод о том, что химические препараты не всегда эффективно защищают от болезней [1, 4-6], так Плеханова Л.П. и Булдаков С.А. сообщают, что: «... они не всегда имеют возможность без ущерба для растений сдерживать распространение болезни. Поэтому тенденция последних лет заключается в экологизации систем защиты растений, где предпочтение отдается микробиологическим препаратам, в том числе отечественного производства. Агроценозы картофеля Нижнего Поволжья характеризуются неблагоприятным фитосанитарным состоянием, и ежегодно возникает необходимость подбора перспективных систем, обеспечивающих при возделывании картофеля защитные мероприятия от комплекса вредных болезней и вредителей в условиях орошения» [1, 4, 5].

Цель настоящего эксперимента состояла в установлении оптимальных сочетаний параметров водного режима почвы и систем защиты растений, обеспечивающих формирование высокой урожайности качественных клубней.

Задачи:

- определить влияние различных водных режимов почвы и систем защиты растений на биометрические показатели, урожайность и качественные показатели клубней картофеля;
- подобрать элементы технологии применения биологических препаратов, обеспечивающих снижение негативного воздействия на растения болезней и вредителей.

Изыскания проводили в 2023-25 годах на экспериментальной площадке ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», расположенной на ОС «Орошаемая». Схема трёхфакторного полевого опыта включала по первому фактору 2 варианта водного режима почвы: A_1 – поддержание влажности почвы в слое 0,4 м не ниже 80% НВ в течение всего периода вегетации; A_2 – поддержание влажности почвы не ниже 80% НВ в слое 0,4 м от посадки до бутонизации, а в остальной период в слое 0,6 м. Второй

фактор включал 3 сорта раннеспелой группы: В₁ – Ред Скарлет; В₂ – Гулливер; В₃ – Любава. Третий фактор включал 2 системы защиты растений: С₁ – химическая, контроль (ХСЗР); С₂ – биологическая (БСЗР).

В состав биологического способа входило: клубни обрабатывали препаратами Геостим Фит А (3л/т) в смеси с Геостим Фит Ж (2 л/т), Гумел Люкс (2 л/т) и Гелиос Супер (2 л/т); в период нарастания ботвы, смыкания её в рядке, бутонизации и цветении обрабатывали биопрепаратами: Геостим Фит Ж (1,5 л/га) в смеси с БСка-3 (4 л/га), Импровер (50 мл), Бфтим (4 л/га), Гумел Люкс (1,0 л/га), Гелиос Азот (3,0 л/га), Гелиос Трио (0,5 л/га) и Гелиос Супер (2 л/га); когда количество колорадского жука было больше или достигало экологических порогов вредоносности добавляли Инсетим (4,0 л/га).

Химический способ защиты включал следующие этапы: предпосадочная обработка клубней фунгицидным протравителем Максим, КС в количестве 0,4 литра на тонну; двукратное опрыскивание посадок в фазе активного роста ботвы смесью фунгицида Ревус, КС (0,6 л/га) и инсектицида Регент, ВДГ (0,025 кг/га) [3]; двукратная обработка в фазу бутонизации смесью фунгицида Дискор, КЭ (0,4 л/га) и инсектицида Эфория, КС (0,25 л/га) [3]; двукратное опрыскивание в фазу созревания смесью фунгицида Танос (0,6 л/га) и инсектицида Регент (0,025 л/га) [3].

Азофоску на опытный участок дозировкой N₁₅₀P₆₀K₁₃₀ разбрасывали РУМ-500 под урожайность 30 т/га клубней.

Эксперимент был заложен в трёх повторениях при одноярусном систематическом расположении делянок. Размер делянки, предназначенной для изучения режима орошения, составлял 833 м², для сортов – 278 м², а для оценки защиты растений – 139 м². Площадь опыта 0,5 га. Норма посадки 60 тыс. шт./га. Способ полива – дождевание машиной шланго-барабанного типа «Rainstar».

В посадках сорта Ред Скарлет в варианте водного режима не ниже 80% НВ в слое 0,4 м в сочетании с биологической СЗР сформировалась максимальная масса ботвы 1110,0 г на одно растение. Минимальную массу ботвы сформировал сорт Любава в варианте водного режима почвы 80% НВ с в слое 0,4 и 0,6 м в сочетании с химической СЗР, которая составила 464,0 г.

Наибольшую высоту растения и максимальное количество стеблей сформировал сорт Гулливер при сочетании водного режима почвы не менее 80% НВ в слое 0,4 м с биологической СЗР, которые составили 0,77 м и 5,7 шт. соответственно (рисунок 5.6, 5.7).

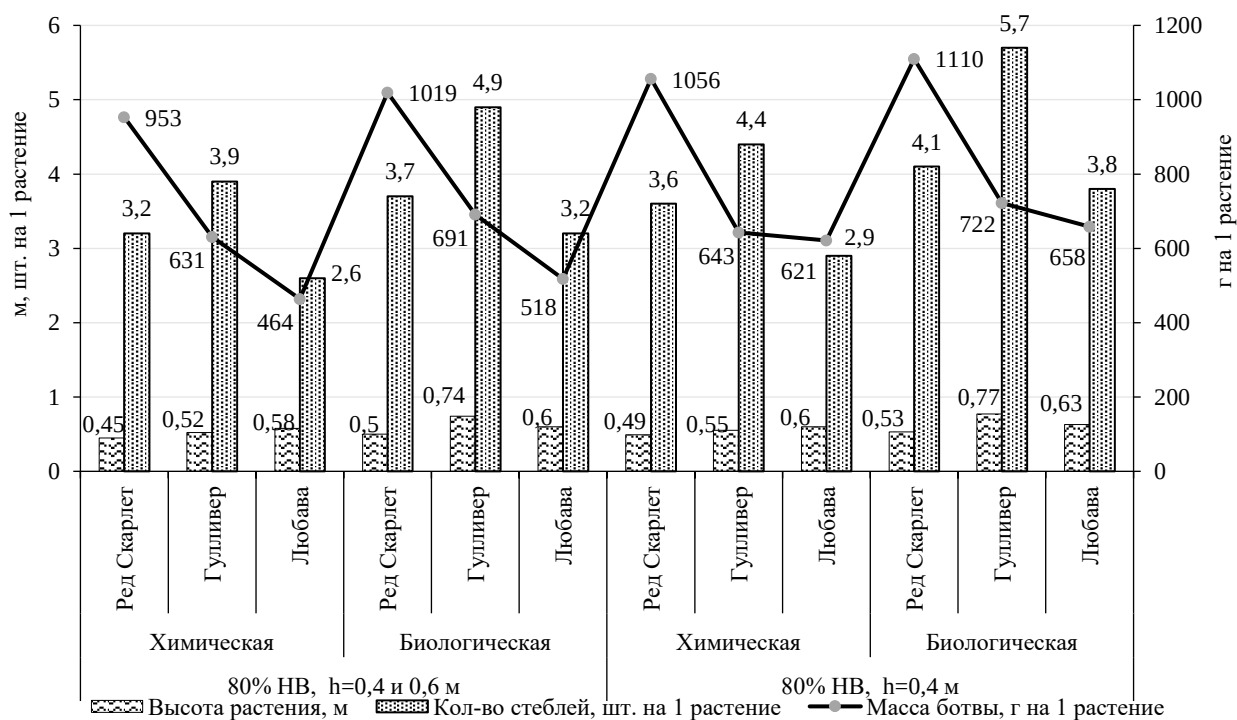


Рисунок 5.6 – Биометрические показатели растений изучаемых сортов

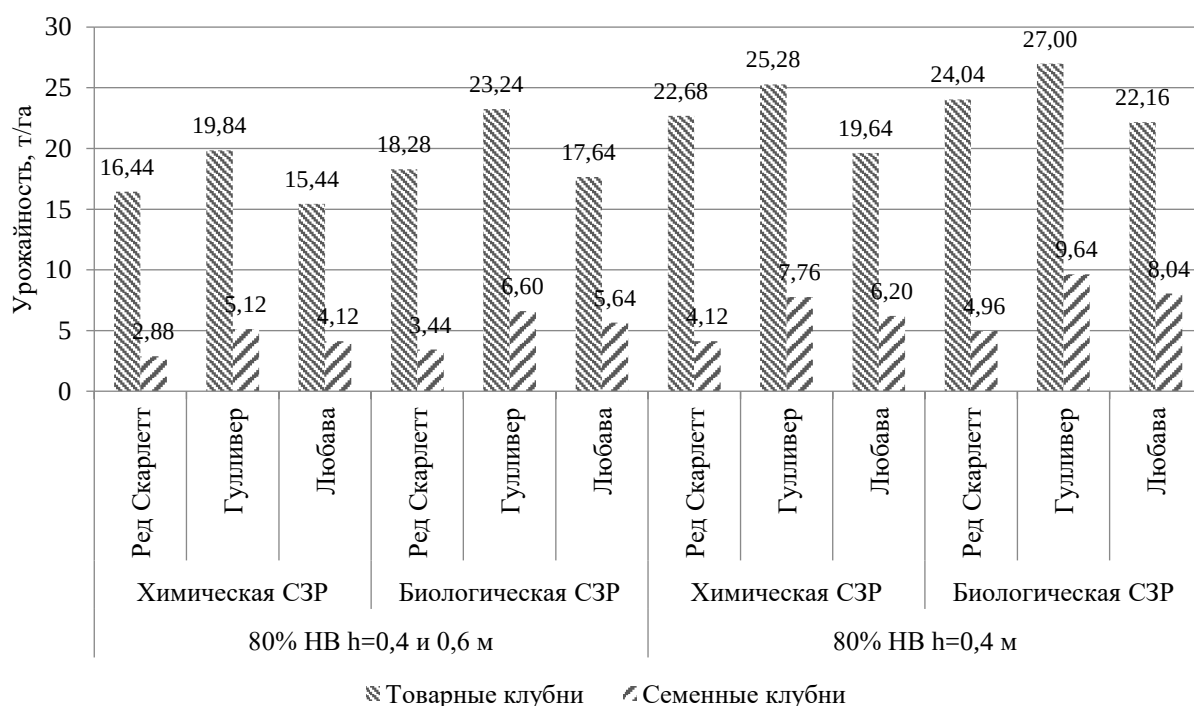


Рисунок 5.7 – Урожайность сортов картофеля в зависимости от изучаемых факторов

В посадках сорта Гулливер при сочетании водного режима почвы 80% НВ в слое 0,4 м с биологическими препаратами сформирована наибольшая семенная и товарная урожайность 9,64 т/га и 27,00 т/га соответственно. При том же сочетании водного режима и системы защиты растений в посадках сорта Гулливер получены минимальные затраты оросительной воды

и значения коэффициента водопотребления, которые составили 85,78 и 115,61 м³/т соответственно.

В клубнях сорта Любава при сочетании водного режима почвы 80 % НВ в слое 0,4 м и биологической СЗР накоплено наибольшее количество крахмала 15,32%. Минимальное содержание крахмала было у сорта Гулливер в комбинации варианта водного режима почвы 80% НВ в слое 0,4 и 0,6 м с химической СЗР – 11,20% (таблица 5.6).

Таблица 5.6 – Содержание питательных веществ и нитратов в клубнях картофеля

Водный режим почвы	СЗР	Название сорта	Содержание в сырой массе клубня, %		Нитраты, мг/кг
			крахмал, %	сухое вещество, %	
80 % НВ h=0,4 и 0,6 м	химическая	Ред Скарлет	11,92	18,28	15,65
		Гулливер	11,20	17,84	48,82
		Любава	12,84	20,36	38,65
	биологическая	Ред Скарлет	13,62	18,95	15,26
		Гулливер	12,96	19,59	41,24
		Любава	14,90	21,35	33,75
80 % НВ h=0,4 м	химическая	Ред Скарлет	12,42	17,37	18,59
		Гулливер	11,74	16,50	50,14
		Любава	13,20	19,45	41,44
	биологическая	Ред Скарлет	13,96	17,56	17,54
		Гулливер	13,42	18,61	44,85
		Любава	15,32	20,28	36,48

Максимальное количество сухого вещества было накоплено при сочетании 80 % НВ в слоях 0,4 и 0,6 м и биологической СЗР в клубнях сорта Любава, которое составило 21,35%. А минимальное его содержание было в клубнях сорта Ред Скарлет при сочетании водного режима 80% НВ в слое 0,4 м с химической СЗР, которое составило 17,37%.

Выводы. При комбинировании режима орошения 80% НВ в горизонте 0,4 м с БСЗР сортом Ред Скарлет была сформирована максимальная надземная биомасса, которая составила 1110 г. При том же сочетании изучаемых факторов наибольшую продуктивность товарных клубней 27,0 т/га и семенных 9,64 т/га продемонстрировал сорт Гулливер. Во взаимосвязи режима орошения 80% НВ в горизонте 0,4 м с БСЗР сортами накоплено наибольшее содержание крахмала

13,96...15,32%. Наибольшее содержание сухого вещества, 18,95...21,35%, сортами было накоплено при сочетании 80% НВ в слое 0,4 и 0,6 м и БСЗР.

Список использованных источников

1. Гиченкова, О. Г. Влияние биопрепаратов на основе *Trichoderma* и *Bacillus subtilis* на продуктивность картофеля в условиях орошаемого земледелия Волгоградской области / О.Г. Гиченкова, Ю.А. Лаптина // *Аграрная Россия*. – 2023. – № 7. – С. 17-23.
2. Гиченкова, О.Г. Эффективность различных систем защиты картофеля в технологии возделывания сортов с пигментированной мякотью/ О.Г. Гиченкова, Ю.А. Лаптина, П.С. Маликова, У.А. Лаптина // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. – 2024. – № 4 (76). – С. 103-115.
3. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешённых к применению на территории Российской Федерации/ Минсельхоз России. Москва. – 2025. 1367 с.
4. Новиков, А.А. Агроэкологическая оценка сортов картофеля при орошении в Нижнем Поволжье / А.А. Новиков, К.А. Родин *Орошаемое земледелие*. – 2024. – № 4 (47). – С. 40-44.
5. Плеханова, Л. П. Эффективность действия биопрепаратов и фунгицидов против болезней растений, клубней картофеля и их влияние на урожайность / Л.П. Плеханова, С.А. Булдаков. *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2019. – № 9 (87). – С. 27-35.
6. Родин, К.А., Новиков А.А., Новиков А.Е. Совершенствование технологии возделывания картофеля при разных системах защиты растений в условиях Нижнего Поволжья / К.А. Родин, А.А. Новиков, А.Е. Новиков// *Мелиорация и гидротехника*. – 2023. – Т. 13. № 4. – С. 349-361.
7. Удалова, Е. Ю. Фитометрический показатель и урожайность картофеля в зависимости от применяемых фунгицидов/ Е. Ю. Удалова// *Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки*. – 2019. – Т. 5. – № 2 (18). – С. 204-209.

References

1. Gichenkova O. G. The effect of biologics based on *Trichoderma* and *Bacillus subtilis* on potato productivity in irrigated agriculture in the Volgograd region / O. G. Gichenkova, Yu.A. Laptina // *Agrarian Russia*. – 2023. – No. 7. – pp. 17-23.
2. Gichenkova, O.G. The effectiveness of various potato protection systems in the technology of cultivating varieties with pigmented flesh/ O.G. Gichenkova, Yu.A. Laptina, P.S. Malikova, U.A. Laptina // *Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education*. – 2024. – № 4 (76). – Pp. 103-115.
3. The State catalog of pesticides and agrochemicals approved for use in the territory of the Russian Federation/ The Ministry of Agriculture of Russia. Moscow. - 2025. 1367 p.
4. Novikov, A.A. Agroecological assessment of potato varieties under irrigation in the Lower Volga region / A.A. Novikov, K.A. Rodin *Irrigated agriculture*. – 2024. – № 4 (47). – Pp. 40-44.
5. Plekhanova, L. P. The effectiveness of biologics and fungicides against diseases of plants, potato tubers and their effect on yield / L. P. Plekhanova, S. A. Buldakov. *International Scientific Research Journal*. – 2019. – № 9 (87). – Pp. 27-35.
6. Rodin, K.A., Novikov, A.A., Novikov, A.E. Improvement of potato cultivation technology with different plant protection systems in the conditions of the Lower Volga region / K.A. Rodin,

A.A. Novikov, A.E. Novikov// Land reclamation and hydraulic engineering. – 2023. – Vol. 13. No. 4. – pp. 349-361.

7. Udalova, E. Y. Phytometric index and potato yield depending on the applied fungicides / E.Y. Udalova// Bulletin of the Mari State University. Series: Agricultural Sciences. Economic sciences. – 2019. – T. 5. – № 2 (18). – Pp. 204-209.

5.6 ПРОТИВОЭРОЗИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ В ОРОШАЕМОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

При поливе дождеванием процесс перехода поливной воды в почвенную влагу может происходить в трех вариантах: бесстоковое впитывание; комбинация стокового и бесстокового впитывания и впитывание при наличии устойчивого слоя воды.

На первой стадии (бесстоковое впитывание) поверхность почвы не покрывается сплошной водяной пленкой в течение всего времени прохождения дождевого облака. Характерной особенностью данного этапа является отсутствие на поле даже небольших лужиц. Второй вариант является промежуточным (фаза аккумуляции), когда на поверхности поля вода скапливается в микропонижениях, минизапрудах, образованных опавшими листьями или полегшими стеблями растений, что ведет к образованию луж.

Третий этап возникает при существенном нарушении баланса между объемом и интенсивностью подаваемой и впитывающейся воды. По мере переполнения микропонижений происходит переток излишней воды в другие лужи, что приводит к образованию поверхностного стока по общему уклону местности.

По наличию слоя воды на поверхности почвы различают безнапорное и напорное впитывание дождевой воды.

Необходимо отметить, что фаза бесстокового впитывания может происходить и в напорном режиме при горизонтальной поверхности почвы и наличии на ней местных сопротивлений, что ведет к увеличению скорости впитывания.

Образование организованного поверхностного стока вызывает отрыв и перенос вместе с водой почвенных частиц, а турбулизирующее воздействие падающих капель дождя значительно усиливает эти эффекты.

Поверхностный сток приводит к неравномерному увлажнению поля, подпитке грунтовых вод, потере гумуса, ирригационной эрозии.

Таким образом, первым экологическим ограничением величины поливной нормы является выполнение полива только до начала возникновения поверхностного стока, включая стадию безнапорного впитывания и фазу аккумуляции дождевой воды в микропонижениях при

напорном впитывании. Такая поливная норма носит название «достоковая» поливная норма.

Целью настоящих исследований является анализ эрозионно-допустимых поливных норм, обеспечивающих сохранение почвенного плодородия, позволяющих ликвидировать поверхностный сток или удержать его на научно обоснованном уровне в критических для полива дождеванием эрозионных условиях.

Задачи исследования заключаются в изучении, систематизации и адаптации противоэрозионной технологии к условиям орошаемого земледелия.

В процессе исследования применялись следующие общенаучные методы: анализа, синтеза, метода сравнения и метода группировки.

Кроме величины поливной нормы в качестве ограничения необходимо считать и допустимую интенсивность дождя, которая согласно справочной литературе для почв, характерных для Волгоградской области, составляет от 0,025 до 0,09 мм/мин. Такие параметры дождя современные дождевальные машины, а тем более работающие в движении, обеспечить не могут. [4]

Чтобы уйти от жесткой достоковой нормы, ввели понятие «эрозионно-допустимой» поливной нормы, зависящей от характеристик дождя, топографических условий, растительного покрова, эрозионной стойкости почв, но базирующейся на достоковой норме.

Величины эти известны для широкого диапазона почв, характеристики которых отражены в работах, где определено, что полностью без образования луж при поливе с использованием широкозахватной дождевальной техники («Кубань», «Фрегат», «Днепр») впитывается от 5,0 мм на глинистых и суглинистых почвах, и до 10,0 мм на песчаных и супесчаных [9].

Предельная величина поливной нормы, найденная с учетом только впитывающей способности почв, невелика. Полив такими малыми нормами не всегда возможен чисто технологически. Поэтому экологическое ограничение допускает при поливе образование небольших лужиц [1], что позволяет несколько увеличить предел допустимой поливной нормы, определенной расчетным методом.

Исследования Н.С. Ерхова и О.В. Кантора показали, что так называемые эрозионно-допустимые нормы полива могут колебаться для разных типов почв от 15,0 до 40,0 мм.

Если по каким-либо причинам ограничиться указанной величиной невозможно, проводят предполивную обработку почвы (щелевание, рыхление), или поливную норму выдают в несколько приемов.

При увеличении поливной нормы сверх расчетной следует быть предельно осторожным, так как на процесс впитывания воды влияет как почвенный покров и интенсивность дождя, так и характер растительности, уклоны поверхности почвы и диаметр дождевых капель.

Таким образом, каждый конкретный случай требует персонального обоснования, что предполагает либо проведение дополнительных специальных полевых исследований и экспериментальное определение эмпирических коэффициентов, либо использование результатов уже выполненных подобных изысканий [2, 3].

Размер поливной нормы, определенной по традиционной формуле А.Н. Костякова, не учитывает состояние агрофона, уклон поверхности, энергетических характеристик дождя.

При этом расчетная норма не должна превышать эрозионно-допустимую, учитывающую показатель свободного безнапорного впитывания, который для легко суглинистых почв составляет 61...90 мм, для средних суглинков 31...60 мм, для глин 21...30 мм [8]. Эти цифры являются ориентировочными размерами досточковых поливных норм. Для конкретных почвенных, топографических и технических условий необходима корректировка досточковой поливной нормы, которая в данном случае будет носить название экологически обоснованной.

Кроме ограничений размеров поливных норм и интенсивности дождя в качестве эффективного противоэрозионного приема выступают широко известные в стране и за рубежом почвозащитные обработки.

С их помощью можно не только снизить поверхностный сток и смыв почвы до полной их ликвидации, но и увеличить значение эрозионно-допустимой поливной нормы.

Несоответствие интенсивности подачи воды на поле скорости ее впитывания приводит к значительной плоскостной эрозии, что требует разработки агромелиоративных приёмов и орудий для повышения впитывающей способности почв [5-7].

Опыт проводился на опытной станции «Орошаемая» пос. Водный. Почва опытного участка светло-каштановая тяжелосуглинистая. Характеризуется небольшой мощностью почвенного горизонта 0,28 м и низким содержанием гумуса в пахотном слое - 1,25%. Реакция почвенного раствора слабощелочная, рН водной вытяжки 7,5...7,9%. Плотность в естественном сложении в среднем для расчётного слоя 0,0...0,6 м составляет 1,40 т/м³, наименьшая влагоёмкость – 17,4% массы сухой почвы. Показатели порозности в слое на уровне 48,81%, плотность твердой фазы – 2,53 т/м³.

Задачей полевого опыта являлось определение влияния противоэрозионных приёмов обработок междурядий посевов кукурузы (фактор А) на показатели формирования поверхностного стока при поливе различными поливными нормами (фактор Б).

В опыте использовали следующие варианты обработки и орудия: 1 – без обработки, 2 – обработка штатной культиваторной стойкой, 3 – обработка усовершенствованной культиваторной стойкой (рисунок 5.8). Размеры поливных норм для активного слоя почвы 0,6 м составляли:

- 300 м³/га при поддержании предполивной влажности не ниже 80% НВ;
- 450 м³/га при поддержании предполивной влажности не ниже 70% НВ;
- 600 м³/га при поддержании предполивной влажности не ниже 60% НВ.

Усовершенствованная культиваторная стойка (патент 2849376, опубл. 24.10.25) состоит из нижней и верхней стрельчатых лап, причём верхняя имеет ширину захвата по верхней кромке на 20% больше нижней.



Рисунок 5.8 – Усовершенствованная культиваторная стойка

При движении нижняя лапа производит рыхление почвы со сдвигом её к рядкам растений. Верхняя лапа производит дополнительное крошение почвы, направляет её к рядкам растений и одновременно формирует взрыхлённый боковой откос борозды, что увеличивает шероховатость поверхности и улучшает условия впитывания оросительной воды.

Повышение шероховатости почвы с использованием усовершенствованной стойки позволяет создать барьеры для замедления стока и рассеять энергию потока воды.

В результате исследований получены данные по влиянию видов обработки на динамику формирования поверхностного стока при различных размерах поливных норм (таблица 5.7).

Культивация междурядий традиционной стойкой обеспечивает второй класс шероховатости с изменением свойств почвы по высоте менее 100 мм, что позволяет снизить сток оросительной воды с 43% на поверхности без обработки до 15% при поливной норме 300 м³/га. Аналогичное снижение наблюдается и при поливных нормах 450 и 600 м³/га.

Таблица 5.7 – Влияние вида обработок на формирование поверхностного стока, м³/га / %

№ п/п	Вид обработки междурядий	Поливная норма, м ³ /га		
		300	450	600
1	Без обработки	129/43	230/51	414/69
2	Культивация традиционной стойкой	45/15	104/23	300/50
3	Культивация усовершенствованной стойкой	21/7	54/12	174/29

Создание профильной шероховатости с систематическими перепадами высот более 100 мм (третий класс), обеспечивающей культивированием усовершенствованной стойкой, позволяет снизить поверхностный сток при поливных нормах 300, 450 и 600 м³/га в 6,14, 4,25, и 2,38 раза соответственно по сравнению с вариантом без обработки почвы (рисунок 5.9).

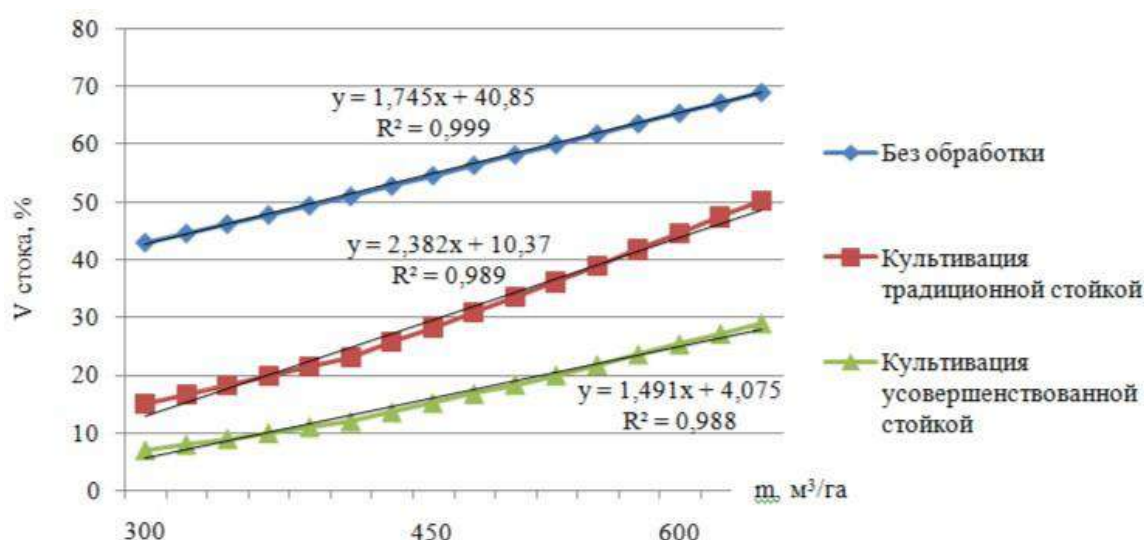


Рисунок 5.9 – Влияние сочетания поливных норм и орудий культивации междурядий на формирование поверхностного стока

Выводы. Применение экологически безопасных технологий орошения, обеспечивающих соответствие интенсивности дождя и требуемых размеров

агрегатов почвы, связано с применением высокопроизводительной дождевальной техники на фоне адаптированных к конкретным условиям технологиям увлажнения и проведением мероприятий по повышению впитывающей и водовмещающей способности почв.

Комбинация применения дождевальных машин с разработанным орудием для обработки междурядий положительно сказывается на уменьшении поверхностного стока; при поливных нормах 300...600 м³/га – снижает поверхностный сток соответственно в 6,1... 2,4 раза по сравнению с вариантом без обработки междурядий.

Список использованных источников.

1. Заславский Б.Г. Управление экологическими системами / Б.Г. Заславский, Р.Д. Полуэктов. – М.: Наука, 1988. – 296 с.
2. Кружилин И.П. Системы орошаемого земледелия в засушливых регионах России / И.П. Кружилин // Мелиорация и водное хозяйство. – 1996. – № 6. – С. 9-14.
3. Научно-обоснованные системы сухого земледелия Волгоградской области в 1986-1990 гг / Коллектив авторов. – Волгоград: Нижне-Волжское кн. изд-во, 1986. – 255 с.
4. Патент на изобретение № 2350070. Дождевальный агрегат. Заявка № 2008101331. Приоритет изобретения 09 января 2008 г. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 марта 2009 г. В соавторстве.
5. Семененко С.Я. Техногенная оптимизация поверхностного стока в орошаемом земледелии Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2022. – № 2 (66). – С. 378-396. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-02-48.
6. Сиуков С. С., Семененко С. Я. Поверхностный сток: глобальный и локальный аспекты. Известия НВ АУК. 2025.- №1 (79) С.173-183. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-01-18.
7. Тихонова М. К., Воронин Г. А., Сиуков С. С. Влияние водного и пищевого режима на динамику линейного роста среднеранних гибридов кукурузы Материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 90-летию кафедры земледелия, почвоведения и мелиорации (г. Махачкала, 9 декабря 2022 г.). –241 с.
8. Филимонова В.А. Приемы обработки почвы в бобре с ирригационной эрозией / В.А. Филимонова, О.А. Аверьянов // ВНИИОЗ. – Волгоград, 1983. – С. 121-125.
9. Фокин Б.П. Повышение эффективности полива многоопорными дождевальными машинами: автореф. дис. ... док. тех. наук: 06.01.02 / Фокин Борис Павлович. – Новочеркасск, 2002. – 48 с.

References

1. Zaslavsky B.G. Management of ecological systems / B.G. Zaslavsky, R.D. Poluektov. – M.: Nauka, 1988. – 296 p.
2. Kruzhilin I.P. Systems of irrigated agriculture in arid regions of Russia / I.P. Kruzhilin // Land reclamation and water management. 1996. No. 6. pp. 9-14.
3. Scientifically based systems of dry farming in the Volgograd region in 1986-1990 / Collective of authors. Volgograd: Nizhne-Volzhskoe Publishing House, 1986. - 255 p.

4. Patent for invention No. 2350070. Sprinkler unit. Application No. 2008101331. Priority of the invention on January 09, 2008. Registered in the State Register of Inventions of the Russian Federation on March 27, 2009. Co-authored.
5. Semenenko S.Ya. Technogenic optimization of surface runoff in irrigated agriculture. Izvestiya Nizhnevolzhsky agrouniversity complex: Science and higher professional education. – 2022. – № 2 (66). – Pp. 378-396. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-02-48.
6. Siukov S. S., Semenenko S. Ya. Surface runoff: global and local aspects. Izvestiya NV AUK. 2025.- No. 1 (79) pp.173-183. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-01-18.
7. Tikhonova M. K., Voronin G. A., Siukov S. S. The influence of water and food regime on the dynamics of linear growth of medium-early corn hybrids Materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of the Department of Agriculture, Soil Science and Land Reclamation (Makhachkala, December 9, 2022). - 241 p.
8. Filimonova V.A. Methods of tillage in beaver with irrigation erosion / V.A. Filimonova, O.A. Averyanov // VNIIOZ. Volgograd, 1983. pp. 121-125.
9. Fokin B.P. Improving the efficiency of irrigation with multi-support sprinklers: abstract of the dissertation. ... Doctor of Technical Sciences: 06.01.02 / Boris Pavlovich Fokin. – Novocherkassk, 2002. – 48 p.

5.7 КОНСТРУКЦИЯ КОМБИНИРОВАННОГО УВЛАЖНИТЕЛЯ, ВКЛЮЧАЮЩЕГО УСТРОЙСТВО ВНУТРИПОЧВЕННОГО ОРОШЕНИЯ ПОВЫ И МЕЛКОДИСПЕРСНОЕ УВЛАЖНЕНИЕ РАСТЕНИЙ

Существующие способы орошения оказывают различное влияние на факторы в системе «почва-растение». Отсюда вытекает необходимость объединения различных способов орошения. Опыт сочетания поливов с применением различных технических средств показывает их эффективность в сравнении с поливами одним способом.

Известна технология комбинированного дождевально-капельного орошения сельскохозяйственных культур, которая заключается в дискретном использовании мелкодисперсного дождевания и капельного орошения в зависимости от климатических и почвенных условий, возделываемых культур и фаз их развития. Комбинированное дождевально-капельное орошение позволяет сочетать гибкое регулирование запасов влаги в почве с созданием оптимальных для растения условий температуры и влажности приземного слоя воздуха.

Капельное орошение - это способ орошения, при котором увлажнение почвы осуществляется в зоне максимального развития корневой системы растений, что обеспечивает её хорошую аэрацию. При этом способе вода каплями подается непрерывно к каждому растению на протяжении всего вегетационного периода в количестве, соответствующем водопотреблению данной культуры. Однако при таком поливе вода растекается по поверхности

почвы, образуя на ее поверхности слой переувлажненной почвы. Этот слой почвы, находясь под воздействием высокой температуры, быстро испаряет воду, при этом происходит уплотнение почвы и снижение ее аэрации.

Одним из новых направлений является создание системы комбинированного орошения на базе капельного и внутрипочвенного орошения, исключающей растекание воды по поверхности почвы и снижающей уплотнение почвы при ее испарении.

Сочетание поверхностного расположения трубопровода с капельницами и подземной подачи воды инъектором с заполнением его воронки гидрофильным пористым материалом обеспечивает безнапорную подачу воды и поддержание благоприятного водно-воздушного режима почвы на глубине расположения корней растений по контуру орошения, без испарения влаги с поверхности почвы.

Однако такая система не обеспечивает улучшения микроклимата в среде растений. Для использования инъекционного орошения в сухостепной зоне система может быть снабжена установленным на инъектор микрождевателем для проведения мелкодисперсного увлажнения приземного слоя воздуха и растений.

Схема конструкции показана на рисунке 5.10. Поливной трубопровод 1 снабжен патрубком 2 на конце которого вертикально установлено водовыпускное устройство в виде капельного водовыпуска 3 и микрождевателя 4, соединенных между собой трубкой 5. Перед капельным водовыпуском трубка заполнена гидрофильным материалом. Этот конец трубки заглубляется в корнеобитаемый слой почвы, а другой конец трубки с микрождевателем выдвинут на 20-25 см над поверхностью почвы.

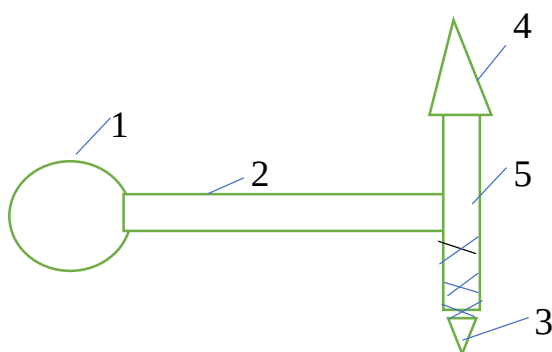


Рисунок 5.10 - Усовершенствованная система капельно-инъекционного орошения с микрождевателем для сухостепной зоны

Внутрипочвенно-ждевальное устройство работает следующим образом: при низком давлении вода через гидрофильный слой и капельное отверстие 3 в нижней части проходит в почву на глубине 10...15 см. При

повышении давления гидрофильный слой сжимается, закрывая доступ воды к капельнице, и вода практически перестает поступать в почву. За счет подъема воды в трубке 5 начинает работать дождевальная насадка 4, которая увлажняет растения и приземный слой воздуха. Работа насадки эффективна при повышении температуры воздуха выше оптимальных величин для выращиваемой сельскохозяйственной культуры.

В настоящее время в продаже имеется достаточно большое количество выдвижных распылителей на телескопической трубе. Такие распылители применяются для полива газонов и низкостебельных садовых культур. Эти распылители можно применить для увлажнения воздуха в среде растений при выращивании овощных культур при поливе комбинированными капельно-внутрипочвенными системами.

Выводы. Разработка новых технических решений при капельном и внутрипочвенном орошении с применением мелкодисперсного дождевания, позволит снизить расход воды на орошение, обеспечив необходимую влажность почвы, за счет снижения температуры и увеличения влажности воздуха, что позволит увеличить урожайность сельскохозяйственных культур и снизить затраты оросительной воды.

Список использованных источников:

1. Бородычев В.В. «Современные технологии капельного орошения овощных культур». Волгоград. 2010 г. С. 9-13; 168.
2. Пат. РФ № 2464776, Способ регулирования фитолимата в агрофитоценозах при капельном орошении и система для его осуществления (Овчинников А.С., Салдаев Г.А., Бородычев В.В., Майер А.В., Губер К.В., Храбров М.Ю. и др), Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия» Заявка: 2010120980/13,24.05.2010, опубликовано: 27.10.2012. Бюл. № 30.
3. Пат.РФ №2773959, Система капельно-инъекционного орошения. (Храбров М.Ю., Губин В.К.). ФГБНУ "ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова". Заявка: 2021131629, 28.10.2021. Опубл. 14.06.2022. Бюл. № 17.
4. Пат. РФ №2783181, Система капельного орошения многолетних насаждений. (Губин В.К., Шевченко В.А., Храбров М.Ю., Кудрявцева Л.В.). ФГБНУ "ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова". Заявка: 2022114131,26.05.2022, опубликовано: 09.11.2022. Бюл. № 31.

References

1. Borodychev V.V. "Modern drip irrigation technologies for vegetable crops". Volgograd. 2010, pp. 9-13; 168.
2. Patent of the Russian Federation No. 2464776, A method of regulating the phytoclimate in agrophytocenoses during drip irrigation and a system for its implementation (Ovchinnikov A.S., Saldaev G.A., Borodychev V.V., Mayer A.V., Guber K.V., Khrabrov M.Yu. and others),

Federal State Educational Institution Higher professional education "Volgograd State Agricultural Academy" Application: 2010120980/13,05/24/2010, published: 27.10.2012. Byul. № 30.

3. Pat.RF No. 2773959, Drip-injection irrigation system. (Khrabrov M.Yu., Gubin V.K.). Federal State Budgetary Budgetary Institution "VNIIGiM named after A.N. Kostyakov". Application: 2021131629, 28.10.2021. Publ. 06/14/2022. Byul. No. 17.

4. Patent of the Russian Federation No. 2783181, Drip irrigation system for perennial plantings. (Gubin V.K., Shevchenko V.A., Khrabrov M.Yu., Kudryavtseva L.V.). Federal State Budgetary Budgetary Institution "VNIIGiM named after A.N. Kostyakov". Application: 2022114131, 26.05.2022, published: 09.11.2022. Byul. No. 31.

Глава 6 *НОВЫЕ СОРТА И ГИБРИДЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В МЕЛИОРАТИВНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ*

6.1 ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ НА НИТРИФИКАЦИОННУЮ АКТИВНОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

В условиях Нечернозёмной зоны эффективность использования мелиорированных земель в значительной степени определяется состоянием пахотного и подпахотного горизонтов, а также направленностью процессов трансформации органического вещества и доступностью элементов минерального питания. Одним из ключевых факторов регулирования этих процессов является механическая обработка почвы, от которой зависят плотность сложения, аэрация, водопроницаемость, влагоёмкость и активность микробиологических процессов [2, 4, 5]. На осушенных дерново-подзолистых почвах система обработки должна учитывать водопроницаемость, гранулометрический состав почвы, биологические особенности культур и степень окультуренности земель. Для таких условий рекомендована разноглубинная обработка: глубокая отвальная вспашка на 28...30 см, а также чизельное рыхление на 30 см под пропашные культуры и дисковая обработка на 8...10 см под яровые и озимые зерновые посевы [2, 4].

Нитрификационная активность относится к числу информативных биологических показателей плодородия почвы. Она отражает интенсивность микробиологической трансформации органических соединений азота и условия накопления нитратной формы, доступной растениям [1, 3]. Уровень данного показателя тесно связан с водно-воздушным режимом, кислотностью, обеспеченностью органическим веществом и элементами минерального питания. Поэтому изучение реакции нитрификационной активности при различных способах основной обработки представляет не только научный, но и практический интерес, поскольку позволяет обосновать выбор агротехнических приёмов для культур с различной глубиной проникновения корневой системы [1, 6, 7].

Цель работы – оценка влияния различных способов основной обработки на нитрификационную активность дерново-подзолистой почвы и выявление наиболее эффективных приёмов регулирования биологической активности пахотного и подпахотного слоёв.

Исследования проводили на осушаемой закрытым дренажем дерново-подзолистой среднесуглинистой почве Верхневолжья. Оценку воздействия способов основной обработки на показатели почвенного плодородия

выполняли в течение трёх ротаций 4-польного плодосменного севооборота на посевах ярового ячменя и кукурузы [1, 3]. В опыте изучали четыре варианта основной обработки: отвальную вспашку на глубину 18...20 см, глубокую отвальную вспашку на 28...30 см, чизелевание на 30 см и поверхностную дисковую обработку на глубину 8...10 см [2, 3].

Оценку нитрификационной активности проводили по слоям почвы 0...20 и 20...40 см, что позволило выявить особенности распределения нитратного азота в пахотном и подпахотном горизонтах. Наряду с этим анализировали агрофизические и агрохимические показатели, влияющие на направленность микробиологических процессов: плотность сложения, общую пористость, пористость аэрации, структурное состояние, содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия, а также кислотность почвы [1, 3, 4]. Нитрификационную способность почвы определяли по общепринятой методике в изложении В.Г. Минеева с соавторами [8]. Для выявления взаимосвязей между нитрификационной активностью и показателями плодородия использовали корреляционно-регрессионный анализ.

Установлено, что различные по глубине и интенсивности приёмы основной обработки неодинаково влияют на жизнедеятельность почвенной микрофлоры и интенсивность процессов, определяющих накопление доступного азота. Максимальная нитрификационная активность пахотного слоя 0...20 см отмечена при поверхностной обработке на глубину 8...10 см дисковыми орудиями. Вместе с тем в подпахотном слое 20...40 см при данном способе обработки содержание нитратного азота было ниже по сравнению с другими вариантами, что указывает на концентрацию наиболее активных процессов минерализации и нитрификации в верхней части почвенного профиля.

Чизелевание на 30 см способствовало увеличению нитрификационной способности как в пахотном, так и в подпахотном слоях, однако наиболее отчётливая положительная тенденция в среднем за годы наблюдений проявилась в горизонте 20...40 см. Это позволяет рассматривать чизельную обработку как приём, обеспечивающий более равномерное распределение биологической активности микроорганизмов по профилю почвы и улучшающий условия для роста и развития культур с глубоко проникающей корневой системой. Глубокая отвальная вспашка на 28...30 см, напротив, сопровождалась снижением нитрификационной активности пахотного слоя на 0,13...0,14 мг N-NO₃ относительно контроля и одновременным существенным увеличением данного показателя в подпахотном слое на 0,27...0,29 мг N-NO₃ на 100 г почвы. Такое перераспределение, вероятно,

связано с перемещением растительных остатков и улучшением водного и воздушного режимов в горизонте 20...40 см.

Значимые различия по нитрификационной активности тесно связаны с изменением других свойств почвы. При поверхностной обработке в верхнем слое 0...10 см отмечено более рыхлое сложение по сравнению с чизелеванием и глубокой отвальной вспашкой. Безотвальные приёмы, прежде всего дискование и чизелевание, способствовали увеличению доли агрономически ценной фракции в пахотном слое, а также накоплению подвижных форм фосфора и калия в верхней части профиля. В частности, максимальное содержание K_2O в слое 0...10 см было зафиксировано при дисковой обработке и чизелевании. При глубокой вспашке, напротив, подвижные формы фосфора и калия в большей степени перемещались в подпахотные горизонты.

Корреляционно-регрессионный анализ показал наличие средней обратной зависимости между нитрификационной активностью и плотностью сложения почвы при всех вариантах обработки на посевах ячменя и кукурузы (r от $-0,45$ до $-0,61$). Одновременно отмечена средняя прямая зависимость с пористостью аэрации, коэффициентом структурности и кислотностью почвы (r от $+0,38$ до $+0,66$), а также сильная прямая связь с содержанием гумуса, P_2O_5 , K_2O и целлюлозолитической активностью почвы (r от $+0,67$ до $+0,79$). По расчётам коэффициентов детерминации динамика нитрификационного процесса на 14...62% была обусловлена изменчивостью показателей почвенного плодородия. Это подтверждает, что нитрификационная активность может рассматриваться как интегральный показатель реакции почвы на изменение агрофизического и агрохимического состояния пахотного слоя при разных способах обработки.

Практическое значение полученных результатов заключается в возможности дифференцированного выбора основной обработки в зависимости от биологии возделываемых культур. При выращивании растений, основная масса корней которых расположена в слое 0...30 см, целесообразно применять поверхностную дисковую обработку, создающую благоприятные условия для нитрификации в пахотном горизонте. Для культур с более глубокой корневой системой более оправдано использование чизелевания или глубокой вспашки на 30 см, так как такие приёмы обеспечивают улучшение свойств подпахотного слоя и способствуют увеличению биологической активности микроорганизмов по всему профилю.

Максимальное соотношение накопления нитратного азота между пахотным и подпахотным слоями как на посевах ячменя, так и на посевах кукурузы отмечено при поверхностной обработке на глубину 8...10 см (табл. 6.1). Это свидетельствует о наиболее выраженной концентрации

нитрификационной активности в верхнем горизонте почвы именно при дисковании.

Таблица 6.1 – Соотношение накопления нитратного азота между слоями 0...20 и 20...40 см при различных способах основной обработки

Способ основной обработки	Ячмень	Кукуруза
Вспашка на 18-20 см	1,9:1	1,8:1
Отвальная вспашка на 28-30 см	1,6:1	1,5:1
Чизелевание на 30 см	1,5:1	1,5:1
Поверхностная обработка на 8–10 см	2,1:1	2,1:1

Выводы

1. Способы основной обработки дерново-подзолистой почвы существенно различаются по влиянию на нитрификационную активность пахотного и подпахотного горизонтов.
2. Максимальная нитрификационная способность слоя 0...20 см установлена при поверхностной дисковой обработке на глубину 8...10 см.
3. Чизелевание на 30 см способствует повышению нитрификационной активности как в пахотном, так и в подпахотном слоях, при этом наиболее выраженный эффект проявляется в горизонте 20...40 см.
4. Нитрификационная активность тесно связана с агрофизическими и агрохимическими характеристиками почвы, прежде всего с плотностью сложения, пористостью аэрации, содержанием гумуса и наличием доступных форм фосфора и калия.
5. Выбор способа основной обработки на мелиорированных землях Нечерноземной зоны должен быть дифференцированным в зависимости от строения корневой системы культур и обеспечивающим наиболее эффективное регулирование плодородия почвы.

Список использованных источников

8. Шевченко В.А., Кирейчева Л.В., Новиков С.А., Соловьёв А.М., Бондарева Г.И., Попова Н.П., Меньшикова С.А. Научное обоснование и практическая реализация вовлечения в оборот залежных земель Нечернозёмной зоны Российской Федерации и восстановления их плодородия. М.: ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2024. – 490 с.
9. Матюк Н.С., Полин В.Д. Ресурсосберегающие технологии обработки почвы в адаптивном земледелии: учебное пособие. М.: РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева, 2013. – С. 5–30.
10. Шевченко В.А., Соловьёв А.М., Попова Н.П. Управление показателями почвенного плодородия мелиорированных земель Нечернозёмной зоны разноглубинными приёмами

обработки почвы и севооборотами, в том числе биологизированными: методические указания. М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2019. – 88 с.

11. Зайдельман Ф.Р. Мелиорация почв: классический университетский учебник. 3-е изд., испр. и доп. М.: МГУ, 2003. – С. 398–399.
12. Баздырев Г.И., Лошаков В.Г., Пупонин А.И. и др. Земледелие: учебник. Под ред. А.И. Пупониной. М.: Колос, 2000. – С. 388–395.
13. Пупонин А.И. Чизельная обработка дерново-подзолистых почв // Земледелие. 1988. № 12. С. 34–36.
14. Саранин К.И. Эффективность глубокого чизелевания дерново-подзолистых суглинистых почв под зерновые культуры // Зерновое хозяйство. 1985. № 7. – С. 25–27.
15. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Амелянчик О.А. и др. Практикум по агрохимии: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп./ Под ред. академика РАСХН В.Г. Минеева. – М.: МГУ, 2001. – 689 с. – ISBN 5-211-04265-4.

References

1. Shevchenko V.A., Kireicheva L.V., Novikov S.A., Solovyov A.M., Bondareva G.I., Popova N.P., Menshikova S.A. Scientific Justification and Practical Implementation of the Involvement of Fallow Lands in the Non-Chernozem Zone of the Russian Federation and the Restoration of Their Fertility. Moscow: A.N. Kostyakov Federal Research Center for Agro-Technological Systems in Agriculture, 2024. 490 p.
2. Matyuk N.S., Polin V.D. Resource-saving technologies of tillage in adaptive agriculture: a textbook. Moscow: RGAU–MSHA named after K.A. Timiryazev, 2013. pp. 5-30.
3. Shevchenko V.A., Solovyov A.M., Popova N.P. Management of indicators of soil fertility of reclaimed lands Non-chernozem zone with different depth methods of tillage and crop rotations, including biologized ones: methodological guidelines. Moscow: FSBI "VNIIGiM named after A.N. Kostyakov", 2019. 88 p.
4. Zaidelman, F.R. Soil Reclamation: A Classic University Textbook. 3rd ed., revised and expanded. Moscow: Moscow State University, 2003, pp. 398-399.
5. Bazdyrev, G.I., Loshakov, V.G., Puponin, A.I., et al. Agriculture: A Textbook. Ed. by A.I. Puponin. Moscow: Kolos, 2000. – Pp. 388–395.
6. Puponin A.I. Chisel processing of sod-podzolic soils // Zemledelie. 1988. No. 12. Pp. 34–36.
7. Saranin K.I. Efficiency of deep chiseling of sod-podzolic loamy soils for grain crops // Zernovoe khozyaistvo. 1985. No. 7. pp. 25-27.
8. Mineev V.G., Sychev V.G., Amelyanchik O.A. and others. Workshop on agrochemistry: a textbook. 2nd ed., revised and additional/ Ed. Academician V.G. Mineev of the Russian Academy of Agricultural Sciences. Moscow: Moscow State University, 2001. 689 p. ISBN 5-211-04265-4.

6.2 ПИТАТЕЛЬНАЯ ЦЕННОСТЬ ОДНОЛЕТНИХ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

В засушливых условиях Волгоградской области особенно перспективны сорговые культуры – они отличаются быстрым ростом, глубокой корневой системой, эффективным использованием влаги из нижних горизонтов почвы,

а также устойчивостью к жаре, засухам и засолению. Благодаря своим ботанико-биологическим особенностям такие культуры как суданская трава, сахарное сорго, сорго-суданковые гибриды, успешно выращиваются в условиях ограниченного орошения и позволяют получать от 20 до 45 тонн зелёной массы с гектара за один сезон, что значительно превышает показатели многих традиционных кормовых культур [6, 4].

В Нижнем Поволжье суданская трава является одной из наиболее популярных и продуктивных кормовых культур. На орошаемых землях она даёт до 80...100 тонн зелёной массы с гектара за три укоса. По питательной ценности среди однолетних мятликовых растений она занимает одно из лидирующих мест. В одном килограмме зелёной массы такого корма содержится 0,22...0,28 кормовых единиц, 20...28 граммов переваримого протеина и 41...48 граммов углеводов [1, 3].

Сорго-суданковые гибриды успешно выращиваются во многих регионах Российской Федерации, в том числе и в Нижнем Поволжье, где они показывают высокие урожайные характеристики даже при умеренных агротехнических условиях. Особое внимание уделяется их адаптации к засушливым условиям: растения обладают мощной корневой системой, способной добывать влагу из глубоких слоев почвы, что делает их устойчивыми к засухам, характерным для летнего периода. При этом они формируют обильную сочную зелёную массу, которая отличается высокой питательной ценностью. Зелёная масса имеет мягкую консистенцию, легко переваривается у травоядных животных и поэтому высоко оценивается как кормовой компонент. Скашивать её можно 2-3 раза за сезон: первый раз в конце июня-начале июля, когда растение достигает высоты около 80...100 см, второй – через 3-4 недели после первого укоса, а третий – при благоприятных климатических условиях уже в сентябре-начале октября. Такая многократная заготовка позволяет получить значительный объём корма на одно гектарное поле.

В составе зелёной массы сорго-суданковых гибридов содержится до 9...13% белка (протеина), что делает эти культуры конкурентоспособными по питательной ценности с традиционными кормовыми культурами, такими как кукуруза и люцерна. При этом уровень сахаров в биомассе составляет 10...13%, что обеспечивает превосходную усвояемость корма, особенно для молочного скота, молодняка свиней и овец [7].

Сорговые культуры соле- и засухоустойчивы, неприхотливы к почвам и хорошо используют осадки второй половины лета. Их выращивают для корма, сенажа и силоса [2, 5]. Однако, несмотря на все преимущества, посевные площади сорговых культур в Нижнем Поволжье незначительны из-

за недостатка высокоурожайных сортов, адаптированных к местным условиям, и имеющих хорошую питательность. Поэтому важно расширить ассортимент таких культур для кормопроизводства региона.

Цель исследований – изучить продуктивность однолетних кормовых культур в одновидовых и смешанных посевах, оценить питательность получаемого корма. Основными задачами исследований являлось определение полноты всходов, роста и развития однолетних культур в монопосевах и смешанных посевах, установление влияния изучаемых приёмов на продуктивность смесей из однолетних культур; а также определение качественной оценки растительной массы.

Исследования на посевах однолетних кормовых культур проводились на опытном поле ВНИИОЗ с типичной для светло-каштановой подзоны почвой. Содержание органического вещества в ней составляло 1,7%. Почва бедна доступным азотом, имеет средний уровень подвижного фосфора и повышенный - обменного калия. Это создавало не вполне благоприятные условия для роста и развития однолетних кормовых культур, требующих внимательного подхода по внесению минеральных удобрений, особенно азотных.

Наименьшая влагоёмкость почвы в метровом слое составляла 20,9% от сухой массы, что свидетельствует о ее значительной способности удерживать влагу. Плотность почвы, равная 1,34 т/м³, была в пределах нормы для данного типа почв, обеспечивая хорошее развитие корневой системы. Общая порозность (48,6%) благоприятствует хорошей аэрации и водообеспеченности, что является важным фактором для роста и развития растений, особенно в условиях недостаточного увлажнения.

Основная обработка почвы включала отвальную вспашку на глубину 0,25...0,27 м. Весной, при достижении физической спелости, её бороновали тяжёлыми зубowymi боронами в два следа, а при появлении сорняков проводили культивацию. Вторая предпосевная культивация выполнялась на глубину заделки семян. Минеральные удобрения (нитроаммофоску) вносили весной под первую культивацию, а после первого укоса посевы подкармливали азотными удобрениями (аммиачной селитрой).

Посев культур в 2024 году проводился 17 мая, а в 2025 году – 20 мая с использованием сеялки СН-16 ПМ. Глубина заделки семян составляла 3...4 см. Посев суданской травы, сорго-суданкового гибрида и сорго в монопосевах осуществлялся рядовым способом с нормой высева 4 млн всхожих семян на гектар. Норма высева гороха составляла 1,2 млн/га. В двухкомпонентных смесях проводили посев с соотношением компонентов

60:40% от полной нормы высева сорговых культур и гороха посевного соответственно.

Полив сельскохозяйственных культур осуществлялся с использованием специализированной дождевальной машины модели «Bauer Rainstar», оснащённой консольной системой распределения воды. Предполивной порог влажности почвы в слое 0...0,5 метра поддерживался на уровне 70% от наименьшей влагоёмкости (НВ), что является оптимальным параметром для обеспечения оптимальных условий роста и развития растений. Уборка урожая производилась в фазу выметывания метелки у сорговых культур, что позволяет максимально эффективно использовать их биологические ресурсы.

Объектами исследований являлись кормовые культуры: суданская трава сортов Алиса и Грация, зерновое сорго сортов Сотник и Есаул, горох посевной сортов Казак и Скиф, выведенные в ФГБНУ «АНЦ «Донской» (г. Зерноград, Ростовская область), а также сорго-суданковые гибриды Агат и Анион, созданные в ФГБНУ «РосНИИСК «Россорго» (г. Саратов).

Содержание основных питательных веществ определяли в испытательной лаборатории почв, кормов и пищевых продуктов ВНИИОЗ по общепринятым методикам. Расчет показателей питательности (кормовых единиц, переваримого протеина) проводился согласно Методическим указаниям по проведению полевых опытов с кормовыми культурами (ФНЦ «ВИК им. Вильямса», 1997).

В 2024 году формирование первого укоса однолетних кормовых культур заняло 64 дня. За это время сумма положительных температур составила 1582 °С, а осадков выпало 98,4 мм. Второй укос был готов через 58 дней. Сумма температур за этот период достигла 1371,6 °С, а осадков – 24,1 мм. В условиях 2025 года первый укос был сформирован за 63 дня (1414 °С, 82 мм), второй – за 53 дня (1085 °С, 103 мм). Вегетационные периоды 2024 и 2025 года были засушливыми, ГТК составлял соответственно 0,41 и 0,74.

Для поддержания оптимальной влажности почвы на посевах кормовых культур в 2024 г. провели 7 поливов. Из них 5 раз поливали до первого укоса, 2 раза – до второго. Общее количество воды, использованной для орошения, составило 2300 м³/га. Суммарное водопотребление однолетних культур достигало 3546 м³/га. В 2025 году посеvy в течение вегетации поливали 6 раз. Под первый и второй укос было проведено по 3 полива. Оросительная норма составила 2200 м³/га, суммарное водопотребление – 4072 м³/га.

Во все годы исследований наблюдались следующие закономерности роста и развития сорговых культур, характерные для условий Нижнего Поволжья. В период всходы-кущение растения растут очень медленно. Первые пять листьев образуются в течение 5...6 недель. За это время стебель достигает

высоты не более 25 см. Медленный начальный рост надземных органов объясняется тем, что растения укореняются и развивают мощную корневую систему в глубину и в стороны. Данная биологическая особенность позволяет эффективно использовать влагу из нижних слоев почвы и способствует высокой засухоустойчивости сорговых культур.

Учет урожайности в 2024 году показал, что в одновидовых посевах за два укоса сорта суданской травы Алиса и Грация сформировали соответственно 83,0 и 75,7 т/га зеленой массы. Сорго-суданковые гибриды Анион и Агат продемонстрировали урожай на уровне 79,6...81,3 т/га. В 2025 году одновидовые посевы суданской травы также показали высокие результаты: Алиса дала 77,8 т/га, а Грация – 83,7 т/га зеленой массы. Урожайность сортов сорго составила 55,2 т/га у Сотника и 57,5 т/га у Есаула. Смешанные посевы суданской травы с горохом сформировали наиболее высокие урожаи: 93,9...98,5 т/га. Посевы сорго с горохом имели урожайность на уровне 56,1...59,5 т/га зеленой массы (табл. 6.2).

Таблица 6.2 – Урожайность однолетних кормовых культур, т/га зеленой массы

Культура	Сорт	Урожайность		
		1 укос	2 укос	за 2 укоса
2024 год				
Суданская трава	Алиса	55,1	27,9	83,0
	Грация	48,9	26,8	75,7
Сорго-суданковый гибрид	Агат	52,0	29,3	81,3
	Анион	53,3	26,3	79,6
2025 год				
Суданская трава	Алиса	43,8	34,0	77,8
	Грация	48,2	35,5	83,7
Сорго зерновое	Сотник	31,9	25,6	57,5
	Есаул	30,4	24,8	55,2
Суданская трава + горох посевной	Алиса + Казак	55,7	38,2	93,9
	Грация + Скиф	59,5	39,0	98,5
Сорго зерновое + горох посевной	Сотник + Казак	33,3	26,2	59,5
	Есаул + Скиф	31,0	25,1	56,1

Расчет питательности корма проводили по основным показателям: переваримому протеину, кормовым единицам и обменной энергии (табл. 6.3).

Таблица 6.3 – Питательная ценность однолетних кормовых культур

Культура	Сорт	Содержание в 1 кг сухой массы		
		переваримого протеина, г	кормовых единиц	обменной энергии, МДж
2024 год				
перед первым укосом				
Суданская трава	Алиса	41,2	0,53	8,13
	Грация	62,5	0,57	8,70
Сорго-суданковый гибрид	Агат	38,5	0,56	8,50
	Анион	34,7	0,54	8,35
перед вторым укосом				
Суданская трава	Алиса	76,3	0,59	8,93
	Грация	94,6	0,59	9,08
Сорго-суданковый гибрид	Агат	91,5	0,58	8,76
	Анион	60,2	0,58	8,63
2025 год				
перед первым укосом				
Суданская трава	Алиса	42,3	0,53	8,34
	Грация	62,1	0,54	8,58
Сорго зерновое	Сотник	70,5	0,55	9,00
	Есаул	72,1	0,57	8,84
Горох посевной	Скиф	137,2	0,63	9,71
	Казак	97,2	0,61	9,77
Суданская трава + горох посевной	Алиса + Казак	85,8	0,58	9,08
	Грация + Скиф	99,5	0,57	8,76
Сорго зерновое + горох посевной	Есаул + Скиф	103,5	0,59	9,00
	Сотник + Казак	95,4	0,59	8,76
перед вторым укосом				
Суданская трава	Алиса	60,6	0,55	8,73
	Грация	68,1	0,55	8,93
Сорго зерновое	Сотник	76,3	0,56	9,10
	Есаул	79,4	0,58	8,93
Суданская трава + горох посевной	Алиса + Казак	76,7	0,55	9,05
	Грация + Скиф	87,1	0,55	9,13
Сорго зерновое + горох посевной	Есаул + Скиф	86,3	0,56	9,08
	Сотник + Казак	84,1	0,54	8,93

Анализ данных показал, что к моменту уборки питательность корма из однолетних культур была оптимальной. В первом укосе у суданской травы в одновидовых посевах в фазу выметывания метелки содержание

переваримого протеина составляло в 2024 г. – 41,2...62,5, в 2025 г. – 42,3...62,1 г/кг сухой массы, обменной энергии, соответственно 8,13...8,70 и 8,34...8,58 МДж, кормовых единиц – 0,53...0,57 и 0,53...0,54. Наибольшей питательностью выделялись посевы гороха, где содержание переваримого протеина составляло 97,2...137,2 г, кормовых единиц – 0,61...0,63, а обменной энергии – 9,71...9,77 МДж/кг сухой массы.

Во втором укосе у сорговых культур питательность корма повышалась. Содержание переваримого протеина достигало в 2024 году 60,2...94,6, в 2025 г. – 60,6...79,4 г/кг сухой массы, кормовых единиц – 0,58...0,59 и 0,55...0,58, обменной энергии – 8,63...9,08 и 8,73...9,10 МДж соответственно.

Исследование смешанных посевов однолетних кормовых культур показало, что наиболее питательными в обоих укосах оказались смеси из суданской травы Грация и сорго Есаул в сочетании с горохом Скиф. Эти смеси содержали переваримого протеина 99,5...103,5 в первом и 86,3...87,1 г/кг – во втором укосе. Количество кормовых единиц составляло 0,57...0,59 в первом и 0,55...0,56 во втором укосе, а обменная энергия достигала 8,76...9,00 и 9,08...9,13 МДж/кг сухой массы соответственно.

Выводы. Установлено, что в монопосевах средняя урожайность суданской травы и сорго-суданкового гибрида была на одном уровне и варьировала от 75,7 до 83,7 т/га. Травостой зернового сорго значительно уступал суданской траве по урожайности и составил 55,2...57,5 т/га. Посевы суданской травы в смеси с бобовой культурой сформировали за 2 укоса максимальные урожаи: 93,9...98,5 т/га, а смешанный посев сорго 56,1...59,5 т/га.

Из сорговых культур по питательной ценности в 2024 году выделились посевы суданской травы Грация: во втором укосе в 1 кг сухой массы содержалось 94,6 г/кг переваримого протеина, 0,59 кормовых единиц и 9,08 МДж обменной энергии. В 2025 году по питательности корма преимущество имело сорго зерновое: в сухой массе содержалось 76,3...79,4 г/кг переваримого протеина, 0,56...0,58 кормовых единиц и 8,76...9,00 МДж обменной энергии.

Во втором укосе содержание переваримого протеина у сорговых культур в вариантах смешанного посева было значительно выше, чем в монопосевах.

Результаты проведенных анализов показали высокую питательную ценность и большой выход обменной энергии у сортов суданской травы Алиса и Грация, сорго-суданковых гибридов Агат и Анион. Одновидовые и смешанные посевы сорговых культур, демонстрирующие высокую урожайность, а также качество продукции и накопление энергии,

целесообразно использовать в кормопроизводстве Нижнего Поволжья при орошении.

Список использованных источников

1. Безгодова, И. Л. Выращивание суданской травы в одновидовом и смешанных посевах на зеленую массу в условиях Северо-Запада России / И. Л. Безгодова, В. В. Вахрушева, Е.Н. Прядильщикова, О. О. Чернышева // *АгроЗооТехника*. – 2024. – Т. 7, № 1. – DOI 10.15838/alt.2024.7.1.4. – EDN GSTFOG.
2. Володин, А. Б. Кормовая продуктивность сахарного сорго и сорго-суданковых гибридов на орошаемых землях Нижнего Поволжья / А. Б. Володин, Ю. П. Даниленко, А.Г. Болотин // *Зерновое хозяйство России*. – 2012. – № 2. – С. 50–54. – EDN OXTLBV.
3. Дронова, Т. Н. Возделывание суданской травы на корм в условиях орошения / Т.Н. Дронова, Н. И. Бурцева // *Орошаемое земледелие*. – 2019. – № 3. – С. 30–33. – DOI 10.35809/2618-8279-2019-3-8. – EDN MQXHOP.
4. Кудяева, Б. Ш. Влияние режимов орошения на продуктивность сортов суданской травы на светло-каштановых почвах Терско-Сулакской подпровинции Дагестана / Б. Ш. Кудяева, М. Р. Мусаев // *Известия Дагестанского ГАУ*. – 2022. – № 4(16). – С. 72–76. – DOI 10.52671/26867591_2022_4_72. – EDN TLDHYD.
5. Ковтунова, Н. А. Параметры адаптивности и изменчивости урожайности и качества зеленой массы суданской травы / Н. А. Ковтунова, А. Е. Романюкин, В. В. Ковтунов, Н.С. Кравченко // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. – 2022. – № 6. – С. 58–62. – DOI 10.31857/2500-2082/2022/6/58-62. – EDN KCOLPU.
6. Андреева, О. Т. Продуктивность и питательность суданской травы в одновидовых и поливидовых посевах / О. Т. Андреева, Н. Г. Пилипенко, Л. П. Сидорова, Н. Ю. Харченко // *Кормопроизводство*. – 2020. – № 7. – С. 28–31. – EDN MAGGFC.
7. Капустин, С. И. Сорго-суданковые гибриды для засушливых условий Центрального Предкавказья / С. И. Капустин, А. Б. Володин, А. С. Капустин, М. Ю. Кухарук // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. – 2021. – № 4(90). – С. 38–43. – DOI 10.37670/2073-0853-2021-90-4-38-43. – EDN WISJLY.

References

1. Bezgodova, I. L. Growing Sudan grass in single-species and mixed crops for green mass in the conditions of the North-West of Russia / I. L. Bezgodova, V. V. Vakhrusheva, E.N. Pryadilshchikova, O. O. Chernysheva // *AgroZooTechnika*. – 2024. – Vol. 7, No. 1. – DOI 10.15838/alt.2024.7.1.4. – EDN GSTFOG.
2. Volodin, A. B. Fodder Productivity of Sugar Sorghum and Sorghum-Sudangrass Hybrids on Irrigated Lands in the Lower Volga Region / A. B. Volodin, Yu. P. Danilenko, and A.G. Bolotin // *Grain Farming in Russia*. – 2012. – No. 2. – Pp. 50–54. – EDN OXTLBV.
3. Dronova, T. N. Cultivation of Sudan grass for fodder under irrigation conditions / T.N. Dronova, N. I. Burtseva // *Irrigated Agriculture*. – 2019. – No. 3. – Pp. 30–33. – DOI 10.35809/2618-8279-2019-3-8. – EDN MQXHOP.
4. Kudaeva, B. Sh. The influence of irrigation regimes on the productivity of varieties of Sudanese grass on light chestnut soils of the Tersko-Sulak sub-province of Dagestan / B. Sh. Kudaeva, M.R. Musaev // *News of Dagestan State Agrarian University*. – 2022. – № 4(16). – Pp. 72-76. – DOI 10.52671/26867591_2022_4_72. – EDN TLDHYD.

5. Kovtunova, N. A. Parameters of adaptability and variability of yield and quality of Sudan grass green mass / N. A. Kovtunova, A. E. Romanyukin, V. V. Kovtunov, N. S. Kravchenko // Bulletin of Russian Agricultural Science. – 2022. – No. 6. – Pp. 58–62. – DOI 10.31857/2500-2082/2022/6/58-62. – EDN KCOLPU.
6. Andreeva, O. T. Productivity and Nutritiveness of Sudan Grass in Monospecific and Polyspecific Crops / O. T. Andreeva, N. G. Pilipenko, L. P. Sidorova, and N. Yu. Kharchenko // Fodder Production. – 2020. – No. 7. – Pp. 28–31. – EDN MAGGFC.
7. Kapustin, S. I. Sorghum-sudangrass hybrids for arid conditions of the Central Ciscaucasia / S.I. Kapustin, A. B. Volodin, A. S. Kapustin, M. Yu. Kukhark // Izvestiya of the Orenburg State Agrarian University. – 2021. – No. 4(90). – Pp. 38–43. – DOI 10.37670/2073-0853-2021-90-4-38-43. – EDN WISJLY.

6.3 АДАПТАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ТЕХНИЧЕСКИХ (ВИННЫХ) СОРТОВ ВИНОГРАДА В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Основные виноградо-винодельческие зоны в России традиционно располагаются на юге европейской части страны, включают виноградопригодные земли Крыма, Кубани, Дона, Ставрополья, Дагестана, Чечни, а также республик Северная Осетия Алания и Кабардино-Балкария [2, 5, 8]. Свыше 80% всего производства винограда сосредоточено в Краснодарском крае и республике Крым. Природно-ресурсный потенциал этих зон очень высок, однако виноградопригодные земли все же занимают ограниченные территории. Кроме того, имеются и известные проблемы, включающие зараженность территорий виноградными вредителями и болезнями, высокую химизацию производства, необходимость использования привитой культуры, что снижает экономические показатели и актуализирует экологические проблемы производства и производимой продукции. Одним из трендов современного этапа развития виноградо-винодельческого бизнеса в России является создание новых проектов в более северных широтах. В настоящее время зарегистрированы новые виноградо-винодельческие зоны в Нижнем Поволжье, Воронеже, Саратове, Самаре, Мордовии и Тюмени¹. Оценки природно-ресурсного потенциала Нижнего Поволжья подтверждают возможность выращивания многих стародавних сортов, пригодных для виноделия, а также новых гибридов современной селекции [1, 6, 9]. Есть практические примеры перспективности развития виноделия в этой зоне [4]. Выбор сортового состава при закладке новых виноградников в регионе имеет приоритетное значение [12].

¹Территориальное деление виноградопригодных земель Российской Федерации // Ассоциация виноградарей и виноделов России. (<https://rvwa.ru/20251224/59872.html>)

Целью настоящего исследования является агроэкологическая оценка адаптивного потенциала перспективных винных сортов винограда для производства белых вин в условиях резко-континентального климата Нижнего Поволжья.

Исследования проводили на опытно-производственном участке ИП «Шишлянникова М.В.» Дубовского района Волгоградской области, расположенном в границах виноградо-винодельческой зоны «Нижняя Волга». Грунт в подпочвенных горизонтах имеет характерное слоистое сложение, благодаря уникальному минеральному составу которого вина приобретают яркий аромат и полный гармоничный вкус. Коллекция белых технических сортов винограда, по которым проводили наблюдения, включает классические, в том числе стародавние и автохтонные сорта главных промышленных виноградо-винодельческих районов мира: с. Алиготе, с. Цитронный магарача, с. Ркацители, с. Сибирьковый, с. Совиньон блан, с. Вионье, с. Мцване кахури и с. Рислинг. Наблюдениями регистрировались даты наступления основных фаз роста и развития винограда, определяли продолжительность продукционного периода по методике М.А. Лазаревского, проводили оценку силы роста и вызреваемости побегов, учет поражения растений болезнями, по методике Н.Н. Простосердова выполняли агроэкологическую оценку урожая, определяли выход, сахаристость и кислотность сока [3, 7, 10, 11]. Учет урожая проводили по каждому сорту в фазу технической спелости ягод методом сплошного сбора. Виноградник оснащен капельным поливом. Режим капельного полива направлен на создание глубокого залегания корневой системы для обеспечения низкой вероятности подмерзания в зимний период. Форма ведения виноградных кустов безрукавная, веерная с отсутствием многолетних рукавов.

Результаты наблюдений по изучаемым сортам винограда приведены в таблице 6.4. Для комплексной оценки адаптивного потенциала изучаемых сортов винограда, их способности формировать продукцию надлежащего качества в условиях резко-континентального климата Нижнего Поволжья, приведены результаты фенологических наблюдений за ростом и развитием сортов винограда в коллекции, дана характеристика силы роста и вызреваемости побегов, их устойчивость к болезням, а также агроэкологические показатели грозди и ягод винограда.

Алиготе. В опытных посадках этот стародавний европейский сорт вступал в фазу вегетации к 23 апреля, а технологическая спелость ягод наступала уже к началу сентября. Продолжительность продукционного периода составила 130 дней, что создает хороший запас для его безрискового выращивания в регионе. Куст типичный, средняя длина однолетнего побега

составила 1,7 м. Вызреваемость побегов хорошая. За отчетный период наблюдали очень слабое поражение винограда этого сорта оидиумом и серой гнилью. В условиях орошения сорт показал хорошую продуктивность, урожайность составила в среднем 11,5 т/га. Выход сока по сорту высокий – 78%. Приведенная в таблице биохимическая характеристика сока показывает данные по первому и второму технологическому сбору урожая.

Таблица 6.4 – Агроэкологическая характеристика технических сортов винограда для производства белых вин в условиях резко-континентального климата Нижнего Поволжья

Показатель		Сорт							
		Алиготе	Цитронный магарача	Ркацители	Сибирьковский	Совиньон блан	Вионье	Мцване кахури	Рислинг
Дата распускания глазков		23.4	18.4	26.4	25.4	24.4	22.4	26.4	27.4
Дата созревания ягод		1.9	23.8	5.9	29.8	2.9	27.8	4.9	3.9
Продукционный период, дн.		130	127	131	125	128	125	128	126
Длина однолетнего побега, м		1,7	1,6	1,7	2,1	1,5	1,4	1,6	2,0
Вызреваемость побега, %		>80	>80	>80	>80	>80	>80	>80	>80
Степень поражения, балл	Оидиум	0	1	1	0	0	3	3	0
	Мильдью	0	1	0	0	0	1	1	0
	Антракноз	0	0	0	0	0	0	0	0
	Серая гниль	0	0	0	0	0	1	1	0
Длина грозди, см		12	13	13	14	11	10	17	9
Ширина грозди, см		8	9	7	8	6	6	11	6
Масса грозди, г		156	319	270	252	166	161	259	140
Число ягод в грозди, шт.		88	170	118	115	114	103	108	84
Масса ягоды, г		1,7	1,8	2,2	2,1	1,4	1,5	2,3	1,6
Выход сока, %		78	71	76	81	76	73	80	75
Сахаристость, %	1 сбор	18	21	18	22	22	19	19	19
	2 сбор	23	-	23	-	-	24	24	23
рН	1 сбор	3,1	3,2	3,1	3,4	3,4	3,1	3,2	3,1
	2 сбор	3,5	-	3,5	-	-	3,6	3,6	3,5
Урожайность, т/га		11,5	17,2	12,4	13,3	11,1	10,2	14,4	11,3

НСР₀₅ по учетам: длинна побега 0,08 м; длина грозди 0,7 см; ширина грозди 0,5 см; масса грозди 21 г; масса ягоды 0,07 г; число ягод в грозди 11 шт.; выход сока 3,2%; сахаристость: 1 сбор 0,6%; 2 сбор 0,8%; рН: 1 сбор 0,09; 2 сбор 0,07; урожайность 0,27 т/га

Проблема, которую решает отдельный сбор урожая, состоит в следующем. Сухой и жаркий климат при орошении создает условия для активного роста и развития винограда. Происходит быстрый набор сахара с некоторым отставанием ароматических составляющих и падением кислотности. В такой ситуации первый сбор обеспечивает винодельческому сырью высокую кислотность и низкий сахар. Вторым сбор обеспечивает высокую фенольную ароматику и исправляет сахаро-кислотный баланс. Двойной сбор винограда обеспечивает в конечном итоге повышение концентрации терпенов и фенолов, которые в значительной степени определяют ароматику виноматериала. Содержание сахара в соке при первом технологическом сборе по сорту Алиготе составило 18% при pH=3,1. Вторым технологическим сбор проводили, когда сахаристость сока повысилась до 23%, а pH снизилось до 3,5.

Цитронный Магарача. Российский сорт селекции ВНИИВиВ «Магарач». В опытных посадках сортовой коллекции у Цитронного Магарача распускание глазков наблюдалось уже 18 апреля. Продолжительность продукционного периода составила 127 дней. Средняя длина однолетнего побега равнялась 1,6 м, с вызреваемостью более 80% (хорошая).

На фоне применяемой в коллекционных посадках винограда системы защиты растений, развития болезней не наблюдалось. Гроздь плотная, достаточно крупная. В почвенно-климатических условиях региона при орошении сорт показал себя очень продуктивным. Урожайность составила в среднем 17,2 т/га, что существенно превышает продуктивность других сортов коллекции. Выход сока по сорту в среднем составил около 71%. Уборку урожая по этому сорту проводили за один технологический сбор. Сахаристость сока составила 21%, а pH находилась в пределах 3,2.

Ркацители. В опытных посадках сорт достаточно поздно вступал в фазу вегетации, начало распускания глазков в отчетном году было отмечено 26 апреля. Продолжительность продукционного периода в регионе составила 131 сутки с учетом того, что культура возделывается в условиях орошения. Лоза вызрела хорошо. В опытных посадках были отмечены растения, поражённые оидиумом и мильдью. Степень поражения очень слабая. В условиях резко-континентального климата Нижневолжского региона при орошении сорт достаточно продуктивен. Урожайность составила 12,4 т/га, что в целом характеризует как хороший средний уровень. Выход сока по сорту составил в среднем 76%. Урожай собирали двумя технологическими сборами. Содержание сахара в соке первого технологического сбора составило 18% при pH=3,1. Содержание сахара в соке второго технологического сбора увеличилось до 23% при снижении pH до 3,5.

Сибирьковский. Автохтонный Донской сорт. Начало распускания глазков по сорту отмечено сравнительно поздно, 25 апреля, что в целом коррелирует с его невысокой зимостойкостью. Однако продукционный период у этого сорта не превышал 125 суток, что позволило ему сформировать ягоду съемных кондиций уже к 29 августа. При орошении формировал мощную лозу с длинной однолетнего побега 2,1 м. Вызреваемость побегов хорошая. В опытных посадках были отмечены растения, поражённые оидиумом. Степень поражения характеризуется как очень слабая. Среднее число ягод в грозди 115 шт. Урожайность винограда сорта Сибирьковский составила в среднем 13,3 т/га, что в целом характеризует продуктивность сорта как хорошую. Выход сока по сорту высокий и составил в среднем 81%. Урожай убирали за один технологический сбор, кондиции ягоды были приемлемыми. Сахаристость сока в фазу съемной спелости составила 22%, рН – около 3,4.

Совиньон блан. Стародавний французский сорт. Средняя дата распускания глазков 24 апреля, продолжительность продукционного периода составила 128 суток. В целом, можно отметить о достаточном запасе времени для безрискового возделывания в условиях региона. Средняя длина однолетнего побега у сорта составила 1,5 м, вызреваемость побегов хорошая. Сорт не устойчив к болезням, однако на фоне сухого климата региона и применяемой зональной системы защиты поражения болезнями растений этого сорта в коллекции не наблюдалось. Средняя масса грозди составила 166 г. Ягода мелкая (1,4 г), число ягод в грозди 114 шт. Урожайность сорта в отчетном году составила 11,1 т/га, что в целом характеризует средний уровень продуктивности. Выход сока по сорту достаточно хороший, так как составил в среднем 76%. Общее содержание сахаров в соке составило 22% при рН в пределах 3,4.

Вионье. В опытных посадках сорт вступал в фазу вегетации 22 апреля. Раннее вступление сорта в фазу вегетации создает определенные риски поражения возвратными заморозками. Техническая спелость ягод отмечена 27 августа, продолжительность продукционного периода 125 дней. Куст небольшой, средняя длина однолетнего побега 1,4 м. Вызреваемость побегов хорошая. Поражений болезнями по сорту выявлено не было. Урожайность сорта в условиях орошения составила 10,2 т/га, что даже несколько выше средней продуктивности сорта в зонах промышленного виноградарства. Выход сока по сорту составил 73%. Урожай собирали двумя технологическими сборами. Содержание сахара в соке первого технологического сбора составило 19% при рН=3,1. Содержание сахара в соке второго технологического сбора увеличилось до 24% при одновременном

снижении pH до 3,6. Интенсивный набор сахара в ягодах сорта является специфичной реакцией на климат региона, который приходится компенсировать агротехническими методами.

Мцване кахури. В опытных посадках характеризовался поздним вступлением в фазу вегетации, начало распускания глазков по сорту отмечено 26 апреля. Однако продукционный период у этого сорта не превышал 128 суток. Средняя длина однолетнего побега составила 1,6 м. Вызреваемость побегов хорошая. Отмечено слабое поражение винограда оидиумом и наличие единичных поражений мильдью. Гроздь крупная, средняя длина 17 см. Урожайность винограда сорта Мцване кахури составила в среднем 14,4 т/га, что в целом характеризует продуктивность сорта как хорошую. Выход сока по сорту очень хороший, 80%. Урожай убрали двумя технологическими сборами. Первый сбор проводили при сахаристости сока в ягодах 19% и pH=3,2. Второй сбор осуществляли, когда сахаристость сока ягод составила 24%, а pH=3,6.

Рислинг. В коллекционных посадках начало распускания глазков у сорта отмечено 27 апреля. Продолжительность продукционного периода не превышала 126 суток. Растение сильнорослое, средняя длина однолетнего побега в опытах составила 2,0 м. Вызревание побега хорошее. Наблюдалось слабое поражение растений оидиумом и очень слабое – мильдью. Среднее количество ягод в грозди 84 шт. При орошении на каштановых почвах Нижневолжского региона сорт показал способность к формированию хороших урожаев – 11,3 т/га, что выше средней продуктивности в традиционных виноградарских зонах. В сравнении с другими сортами коллекции продуктивность винограда Рислинг занимает уверенный средний уровень. Проблемой производства виноматериалов из винограда сорта Рислинг в регионе оказался быстрый набор сахара и снижение кислотности сока. Чтобы компенсировать этот недостаток убрали урожай отдельным способом. Содержание сахара в соке первого технологического сбора составило 19% при pH=3,1. Содержание сахара в соке второго технологического сбора увеличилось до 23% при снижении pH до 3,5.

Выводы. Обобщение изложенного материала позволяет отметить, что все изучаемые сорта винограда достаточно хорошо адаптированы для климата Нижней Волги. Значительный запас по фенологии развития и созревания ягоды снижает риски повреждения растений возвратными заморозками и недобора необходимых кондиций ягоды. Вызреваемость побегов хорошая. Жаркий и сухой климат при высокой интенсивности солнечной радиации по многим сортам способствовал даже перебору кондиций по сахаристости сока. Но эти недостатки в наборе кондиции ягод можно компенсировать

технологическими способами. Основной проблемой выращивания этих сортов винограда на Нижней Волге является их сравнительно невысокая морозоустойчивость и зимостойкость, не соответствующая климату региона, поэтому коллекция вышеперечисленных сортов белого винограда выращивается только по укрывной технологии.

Список использованных источников

1. Гуляева Г.В., Байрамбеков Ш.Б., Соколова Г.Ф. Экологическая оценка столовых сортов винограда в условиях Нижнего Поволжья // Орошаемое земледелие. - 2018. - № 3. - С. 19-20.
2. Исаенко А.П. Оценка развития виноградарства и виноделия в России // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия: Экономика. 2020. - № 3 (265). - С. 37-43.
3. Керанова Н.Т., Ройчев В.Р. Сравнительный анализ плодоносности и урожайности винных белых сортов винограда // Русский виноград. - 2022. - Т. 19. - С. 45-52.
4. Кружилин И.П., Курапина Н.В., Гусев Д.Э. Выращивание оздоровленных саженцев винограда // Орошаемое земледелие. - 2014. - № 1. - С. 16-17.
5. Мухаметзянов Р.Р., Джанчарова Г.К., Арзамасцева Н.В. Изменение объемов производства фруктов, ягод и винограда в России // Экономика сельского хозяйства России. - 2022. - № 9. С. 67-72.
6. Овчинников А.С., Бородычев В.В., Гуренко В.М. К вопросу разработки закона и программы развития отрасли виноградарства и виноделия в Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. - 2020. - № 2 (58). - С. 14-28. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-02-0
7. Петров В.С., Алейникова Г.Ю., Сегет О.Л., Мarmorштейн А.А., Руссо Д.Э., Сундырева М.А., Киселева Г.К., Казахмедов Р.Э., Орлов В.А. Методология управления агробиологической, адаптивной и продукционной устойчивостью насаждений винограда в нестабильных погодных условиях и техногенной интенсификации производства // Плодоводство и виноградарство Юга России. - 2024. - № 86 (2). - С. 16-43.
8. Петров В.С., Мarmorштейн А.А., Лукьянова А.А., Коваленко А.Г. Адаптивная фенологическая реакция автохтонных сортов винограда на изменения погодно - климатических условий юга России // Магарах. Виноградарство и виноделие. - 2020. - Т. 22. - № 3 (113). - С. 210-215.
9. Петрова С.С., Воробьева О.М., Меркуропулос Г., Заманиди П.К. Новые высококачественные чернаягодные сорта винограда для производства вин превосходного класса и их адаптация к условиям Нижнего Поволжья // Евразийский союз ученых. - 2021. - № 12 (93). - С. 14-20.
10. Полулях А.А., Волынкин В.А. Реакция местных сортов винограда Крыма на засуху как стресс-фактор биосферы // Магарах. Виноградарство и виноделие. - 2019. - Т. 21. - № 4 (110). - С. 307-311.
11. Ройчев В. Агробиологическая и технологическая характеристика интродуцированных сортов винограда, предназначенных для производства красного вина // Русский виноград. - 2016. - Т. 3. - С. 65-72.

12. Штомпель Ю.А., Незнаева А.М. Выбор и оценка земель для закладки насаждений технических сортов винограда на Кубани // Труды Кубанского государственного аграрного университета. - 2008. - № 14. - С. 131-133.

References

1. Gulyaeva G.V., Bayrambekov Sh.B., Sokolova G.F. Ecological Assessment of Table Grape Varieties in the Lower Volga Region // *Irrigated Agriculture*. - 2018. - No. 3. - Pp. 19-20.
2. Isaenko A.P. Assessment of the Development of Viticulture and Winemaking in Russia // *Bulletin of Adygea State University. Series: Economics*. 2020. - No. 3 (265). - Pp. 37-43.
3. Keranova N.T., Roichev V.R. Comparative analysis of the fruitfulness and yield of white wine grape varieties // *Russian Grapes*. - 2022. - Vol. 19. - Pp. 45-52.
4. Kruzhilin I.P., Kurapina N.V., Gusev D.E. Growing Enlarged Seedlings of Grapes // *Irrigated Agriculture*. - 2014. - No. 1. - Pp. 16-17.
5. Mukhametzyanov R.R., Dzhancharova G.K., Arzamasceva N.V. Changes in the production volumes of fruits, berries, and grapes in Russia // *Russian Agricultural Economics*. - 2022. - No. 9. Pp. 67-72.
6. Ovchinnikov A.S., Borodychev V.V., Gurenko V.M. R to the question of the development of the law and the program of development of the branch of viticulture and winemaking in the Volgograd region // *Izvestiya of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. - 2020. - No. 2 (58). - Pp. 14-28. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-02-0
7. Petrov V.S., Aleinikova G.Yu., Seget O.L., Marmorshtein A.A., Russo D.E., Sundyрева M.A., Kiseleva G.K., Kazakhmedov R.E., and Orlov V.A. Methodology for Managing the Agrobiological, Adaptive, and Productive Stability of Grape Plantations in Unstable Weather Conditions and Technogenic Intensification of Production // *Fruit Growing and Viticulture in the South of Russia*. - 2024. - No. 86 (2). - Pp. 16-43.
8. Petrov V.S., Marmorshtein A.A., Lukyanova A.A., Kovalenko A.G. Adaptive phenological reaction of autochthonous grape varieties to changes in weather and climatic conditions in the south of Russia // *Magarach. Viticulture and Winemaking*. - 2020. - T. 22. - № 3 (113). - Pp. 210-215.
9. Petrova S.S., Vorobyeva O.M., Merkuropoulos G., Zamanidi P.K. New high-quality black-and-white grape varieties for the production of premium wines and their adaptation to the conditions of the Lower Volga region // *Eurasian Union of Scientists*. - 2021. - No. 12 (93). - pp. 14-20.
10. Polulyakh A.A., Volynkin V.A. The reaction of local Crimean grape varieties to drought as a stress factor of the biosphere // *Magarach. Viticulture and Winemaking*. - 2019. - Vol. 21. - No. 4 (110). - Pp. 307-311.
11. Roychev V. Agrobiological and Technological Characteristics of Introduced Grape Varieties for Red Wine Production // *Russian Grapes*. - 2016. - Vol. 3. - P. 65-72.
12. Shtompel Yu.A., Nezayaeva A.M. Selection and evaluation of lands for planting of technical grape varieties in the Kuban // *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. - 2008. - No. 14. - P. 131-133.

Глава 7 *ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ МЕЛИОРАТИВНО-ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА*

7.1 ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧНЫХ ДОЛИН МАЛЫХ ВОДОТОКОВ В АРИДНЫХ ЗОНАХ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ БПЛА

Малые масштабы водосборов, отсутствие или незначительная доля подземного питания временных (эфемерных) водотоков в условиях аридного климата юга Европейской территории России обуславливают важную роль сезонного поверхностного стока, возможности его аккумуляции и сопутствующие потери, а также использование для подпитки подземных вод при наличии гидрогеологических условий. Последний вопрос очень важен для засушливых районов Республики Калмыкия, где подземные воды отличаются повышенной минерализацией, снижение которой возможно только за счет инфильтрации поверхностного стока. Корректная оценка объемов формирующегося весеннего стока при минимальном количестве постов наблюдательной сети затруднительна и имеет большую погрешность. Одним из перспективных направлений исследований для решения этой задачи является использование высокоточных цифровых моделей рельефа (ЦМР) в совокупности с результатами ДЗЗ, позволяющих проводить детальное изучение морфологии долин временных водотоков.

Гидрологический режим временных водотоков Республики Калмыкия определяется совокупностью природно-географических и ландшафтно-климатических условий и характеризуется кратким периодом обводнения русловой сети в период зимне-весеннего половодья с отсутствием постоянного стока в остальной временной промежуток. Значительная часть весеннего поверхностного стока при этом скапливается преимущественно в понижениях русла (русловые плесы), постепенно безвозвратно теряясь на испарение и инфильтрацию.

Проблема дефицита гидрологических данных для малых водотоков по России в целом стоит очень остро. Как отмечают исследователи, традиционные методы наземных изысканий трудоемки, а использование ГИС-технологий и данных ДЗЗ становится безальтернативным способом получения оперативной информации о состоянии водных объектов, особенно неизученных, при более высоком качестве исходной гидрографической информации [2,6,3].

Высокоточная ЦМР позволяет напрямую получить ключевые гидрографические и морфометрические параметры водотоков, которые

затруднительно измерить в натуре в связи с коротким периодом наличия стока [8,9]. Для эфемерных русел это особенно ценно, потому что наблюдений стока и русловых съёмок всегда мало или они полностью отсутствуют [8].

Целью данной работы является демонстрации метода расчёта морфометрических характеристик русел временных водотоков на основе высокоточной ЦМР, базирующейся на данных съёмки при помощи БПЛА на примере верховий р. Яшкуль, расположенных на восточном склоне возвышенности Ергени.

Приоритет использования данных съёмки при помощи БПЛА над материалами ДЗЗ обусловлен объективными ограничениями при **использовании данных космических снимков для анализа микро топографии русла и речных пойм**. При полном отсутствии леса и густого кустарника современные коммерческие радарные данные (например, TerraSAR-X или Pleiades Neo через стереосъёмку) могут дать точность по вертикали порядка 0,5-1,5 метра. Для общего понимания рельефа поймы такая детальность приемлема, но для гидравлического моделирования она недостаточна. На пойме часто растут густые кустарники, имеется высокий травостой. Радиоволна отражается от верхушек кустов или «запутывается» в стеблях камыша. В итоге радар фиксирует высоту растительности, а не реальные береговые границы. Это дает завышенные отметки поверхности земли, искажая получаемые результаты при гидравлических расчетах.

Пойма характеризуется развитой микроформой рельефа: небольшие валы, старые протоки, каналы. Спутниковая модель имеет шаг сетки (пиксель) 2×2 или 5×5 метров. Для оценки крупного паводка для большой территории спутниковой стереосъёмки обычно достаточно. Но для малых водотоков с небольшими поймами при необходимости точного определения границ затопления/обводнения конкретных участков, радар со спутника не даст нужной точности. Даже на открытой пойме радар может ошибаться из-за влажности почв, создавая «ложные высоты». Отличия радарного сигнала от сухой и влажной почвы в последствии могут быть интерпретированы ПО как изменения высот или пробелы в данных. Если пойма сильно заболочена, радарный луч может отражаться от условного водного зеркала в сторону, выдавая некорректные данные. Все мелкие формы рельефа шириной 1...3 метра, которые часто и определяют путь воды, будут «замылены», то есть на модели поймы будет выглядеть более плоской, чем она есть на самом деле.

Для расчета траектории стока и мест накопления воды критически важна микро топография, позволяющая определять так называемые «пороги перелива». Для этого необходима детальная съёмка при помощи БПЛА

с пространственным разрешением, значительно превосходящим возможности большинства спутниковых систем.

Аэрофотограмметрическая съёмка с применением БПЛА связана с геодезическим обеспечением и проводится в два этапа: плановое обоснование и собственно аэрофотосъёмка

Плановое обоснование. GNSS-приемники, работающие в режиме RTK, позволяют создать сеть опорных точек с привязкой к пунктам госгеосети. Система координат выбирается, исходя из района проведения работ. Система высот традиционно принимается Балтийская (1977 г.). Оценка точности калибровки созданной сети проводится по остаточным разностям между каталожными координатами триангуляционных пунктов и координатами, полученными в результате измерений. При необходимости для сгущения сети создаются дополнительные опорные пункты планово-высотного обоснования.

Аэрофотосъёмка. Применение БПЛА в период минимального обводнения на спаде или после окончания половодья позволяет исключить эффект «водного зеркала», препятствующего фотограмметрическому восстановлению рельефа дна долины. Для обеспечения точности ЦМР на местности устанавливаются дополнительные опознавательные знаки (маркеры), распределенные по геометрии русла для минимизации систематических ошибок и деформации модели. По результатам съёмки проводится реконструкция плотного облака точек, на основе которого строится цифровая модель рельефа местности (далее – ЦМР). Обработка данных и расчеты проводятся в специализированном ПО, например, Agisoft Metashape, QGIS и других ГИС систем.

Методика расчёта морфометрических характеристик русла на основе цифровой модели рельефа. Расчет морфометрических/морфологических характеристик русла на основе ЦМР представляет собой последовательный процесс преобразования пространственных данных (X, Y, Z) в набор гидрологических и гидравлических параметров. Существующее ПО позволяет сделать этот процесс автоматизированным. Расчет проводится в несколько этапов:

1) Построение цифровой модели русла (рис. 7.1). Создается сетка высот, определяется линия тальвега, соединяющая самые глубокие точки русла. В ГИС-среде используется инструмент «Flow Accumulation» или ручная трассировка по самым низким отметкам ЦМР, позволяющая установить общий уклон реки с локальными аномалиями при наличии порогов, перекатов и глубоких плесов.

2) Создание последовательности поперечных профилей. Для анализа формы русла через установленные промежутки (определяется требуемой

детальностью, например, каждые 50–100 м) строятся перпендикулярные к продольному профилю поперечные створы. Инструмент «Stack Profile» позволяет автоматически определить высотные отметки вдоль линии створов по ЦМР, а также иные параметры (ширина русла, расстояние между бровками, максимальная глубина, разница между отметкой бровки и самой низкой точкой дна, площадь поперечного сечения и пр.).

3) Расчет зависимостей объема и площади зеркала от высотных отметок или глубины заполнения русла в конкретном створе ($V=f(H)$ и $S=f(H)$). Это ключевой этап при определении аккумулирующей емкости русла и поймы. Программа «Cut/Fill» в ГИС задает плоскость, имитирующую уровень воды с последующим автоматическим вычислением объема пространства между этой плоскостью и выбранной поверхностью ЦМР (например, дном). Пошаговые расчеты позволяют построить обобщенные зависимости объемов аккумуляции от уровня затопления.

4) Определение объемов русловых плесов. В условиях недостатка водных ресурсов важно определить места, где вода аккумулируется, и установить их «порог перелива» (рис. 7.2). Это позволяет реализовать функцию «Fill Sinks»: в случае расчетов по модели ЦМР он используется для инвентаризации естественных русловых объемов (оценка статической емкости). Разница между «заполненной» моделью (с наличием отметки уреза воды в период прохождения паводка или после него) и исходной (чистой) ЦМР демонстрирует объем всей воды, содержащейся в бессточной части русловых плесов.

5) Шероховатость и морфология дна. Современные модели позволяют анализировать микрорельеф дна, его строение (песок, глина, покрыто растительностью, пр.), рассчитать индекс шероховатости поверхности (TRI) и далее коэффициент шероховатости с учетом морфологической структуры дна, необходимый в формуле Шези при расчете скоростей течения.

Российский опыт моделирования показывает, что автоматизированное извлечение параметров микрорельефа из ЦМР позволяет существенно снизить погрешность гидравлических расчетов [1]. Для определения вышеуказанных характеристик рекомендуется использование следующего ПО:

- Agisoft Metashape – для первичного создания облака точек и ЦМР;
- ArcGIS/QGIS – для гидрологического анализа (Hydrology Toolset);
- HEC-RAS / ECOMAG, STREAM 2D– для гидродинамического моделирования, куда импортируется геометрия русла, извлеченная из ЦМР [4,5].

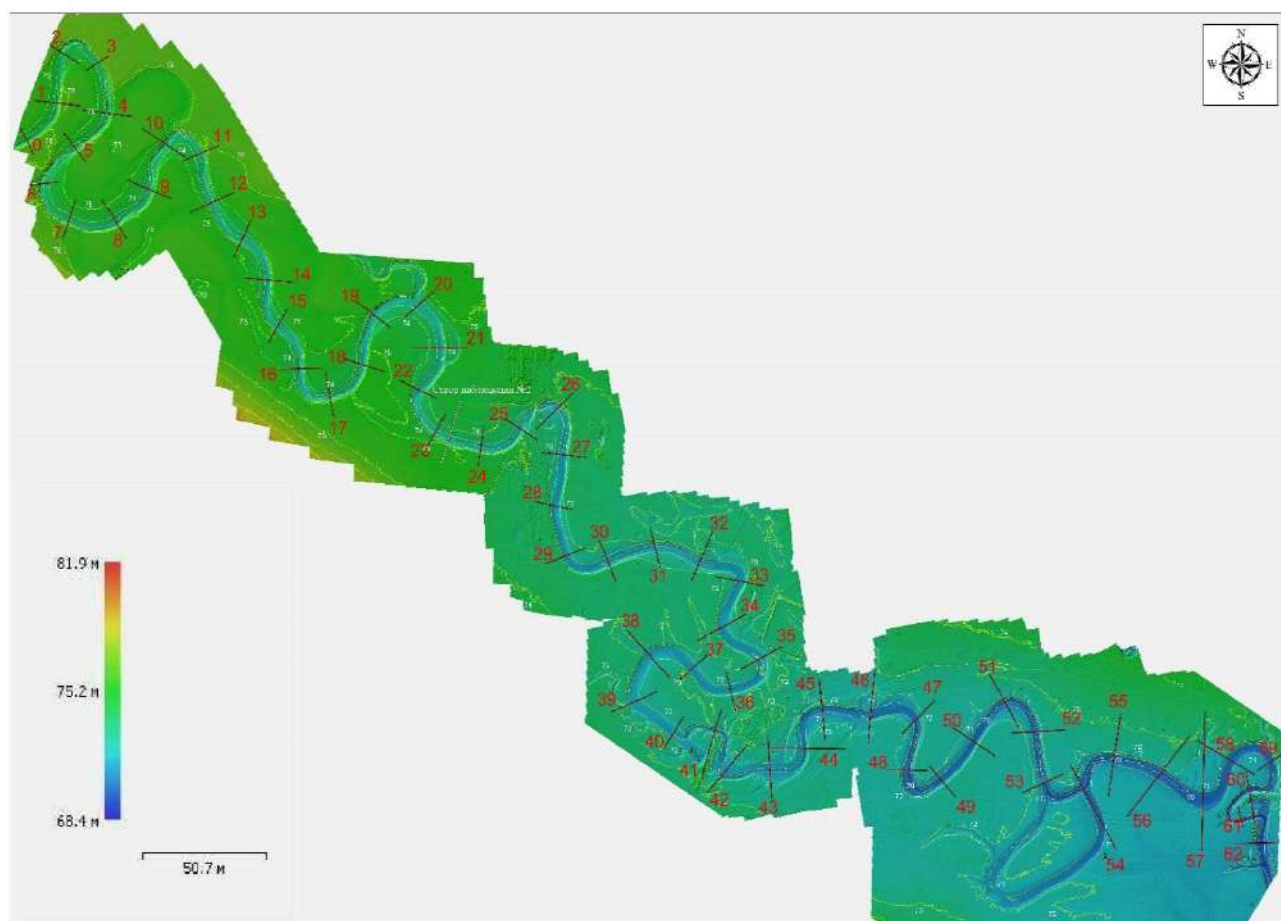


Рисунок 7.1 - Цифровая модель местности р. Яшкуль с обозначением расположения расчетных поперечных створов

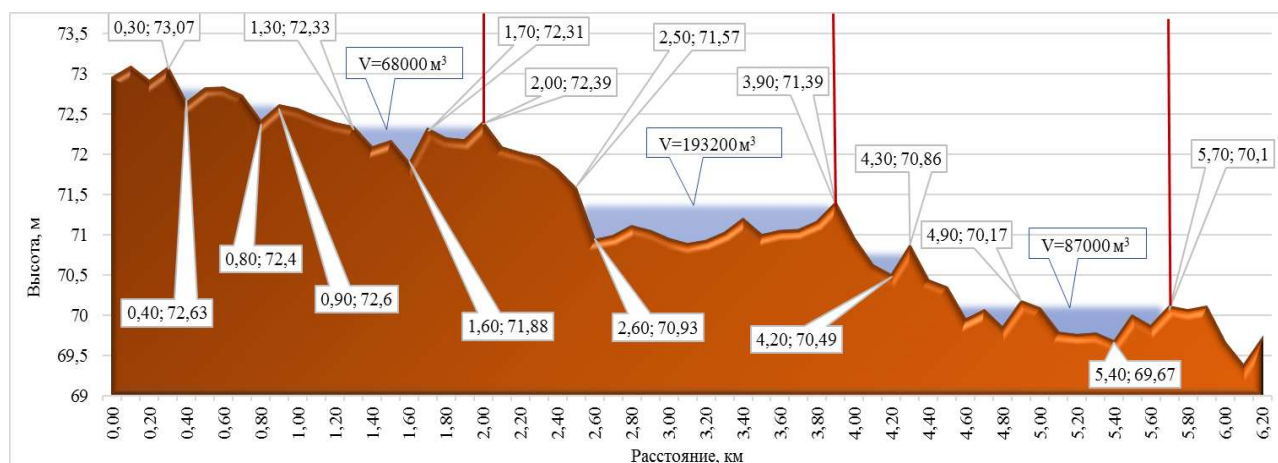


Рисунок 7.2 - Профиль с выделением основных плесов с указанным объемом аккумулируемых вод на исследуемом участке русла р. Яшкуль

Результаты моделирования русловых процессов. Полученные результаты позволяют оценить пространственную структуру русловых форм, определить зоны эрозии и аккумуляции наносов, а также выявить участки потенциальной аккумуляции поверхностного стока.

Если на водотоке отсутствуют натурные наблюдения за стоком, можно использовать косвенные подходы, где полученные морфометрические характеристики по ЦМР служат основой для расчёта стока.

На основании полевых работ, проведенных в Республике Калмыкия в 2023-25 гг., построена ЦМР, описывающая детальное строение русла р. Яшкуль в районе Верхнеяшкульского водозабора на Троицком месторождении подземных вод. Моделирование позволило выделить три выраженных ступени русла по длине водотока, с отличающимися условиями прохождения руслового стока. Расчеты показали, что значительная часть поверхностного стока в период весеннего половодья (до 348200 м³ на расчетном участке) аккумулируется в русловых плесах, не доходя до основных водозаборных сооружений. Большая русловая емкость объясняет, почему дождевые осадки малой и средней интенсивности практически не приводят к появлению транзитного стока, достигающего водозабора. Наблюденный речной сток составил 1,92 млн. м³, что в 3 раза ниже расчетного значения, что связано с накоплением воды в бессточных или периодически сточных понижениях в русле и на пойме. Вода, аккумулированная в плесах, подвергается интенсивному испарению в местных климатических условиях, что ведет к постепенному росту минерализации. Таким образом, выявленные плесы выступают не только как накопители сезонного стока, но и как естественные испарители, ухудшающие качество водных ресурсов в длительной перспективе.

Аналогичные проблемы деградации малых рек и заиления русел наблюдаются во многих засушливых регионах РФ, что требует внедрения систем регулярного мониторинга на основе беспилотных технологий для оперативного планирования расчистки русел [7], а возможно и мероприятий по искусственному пополнению подземных вод.

Преимущества и ограничения применения БПЛА в гидроморфологическом анализе

К преимуществам использования БПЛА можно отнести:

- высокая точность пространственных данных;
- возможность анализа микрорельефа;
- получение сплошной цифровой модели русла водотока реки и его поймы;
- высокая наглядность результатов моделирования.

Ограничения метода:

- влияние растительности на точность фотограмметрической реконструкции;

- необходимость дополнительных алгоритмов классификации точек;
- отсутствие учета динамических процессов фильтрации и инфильтрации.

В аридных условиях рассматриваемый метод цифрового моделирования показывает хорошие результаты, мониторинг возможен ежегодно и детально для оценки изменений морфометрических характеристик. Охватываемая площадь исследований и точность результатов ограничиваются лишь техническими характеристиками оборудования, ограничениями зоной покрытия связи и разрешениями на полеты. Рассматриваемый подход к расчету гидравлических характеристик на основе ЦМР эффективен на равнинном или слабохолмистом рельефе местности, в отсутствии высокой растительности вблизи водного объекта.

Выводы. Проведённое исследование показало, что использование ЦМР, полученных на основе аэрофотограмметрической съёмки с БПЛА, является эффективным инструментом для анализа морфометрических характеристик долин малых водотоков. Высокая детализация получаемых моделей позволяет выявлять микротопографические особенности русел и пойм, оказывающих влияние на формирование и перераспределение стока по долине. Использование БПЛА и современных ГИС-технологий открывает новые возможности для мониторинга водных ресурсов на неизученных водотоках, повышающих точность гидрологических расчётов и научную обоснованность решений в области управления водными ресурсами.

Список использованных источников

1. Беликов В.В., Гладков В.Ю. Использование детальных цифровых моделей рельефа для гидравлического моделирования речных потоков// Гидротехническое строительство. – 2015. - №8.
2. Гарцман Б.И., Бугаец А.Н. Геоинформационное моделирование речных систем: задачи, методы, программные решения// Водные ресурсы. – 2012. – Т. 39, №2.
3. Мелихов М.В., Дистанционный мониторинг природных водных ресурсов в зоне строительства горно-гидротехнических комплексов // Горный институт КНЦ РАН, н.с., г. Апатиты, Россия.
4. Мотовилов Ю.Г. Свидетельство о гос. рег. в Роспатенте № 2013610703. ECOMAG. Россия, 2013.
5. Программный комплекс STREAM 2D CUDA для расчета течений, деформаций дна и переноса загрязнений в открытых потоках с использованием технологии CUDA (на графических процессорах NVIDIA) // А.И. Алексюк, В.В. Беликов. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2017660266. Российское агентство по интеллектуальной собственности, 2017.

6. Соколов А.С., Геоинформационные системы в экологии и природопользовании: учеб. пособие // Гомель: Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины, 2014. 224 с.
7. Шалыгин А.Л., Курилович В.В. Применение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга морфометрических параметров водных объектов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2021. №4.
8. Holland, Edward C.; Churyumova, Elvira, Climate Change, Desertification, and Water Stress in Kalmykia doi.org/10.3929/ethz-b-000620733.
9. Giuseppe Amatulli, Jaime Garcia Marquez, Tushar Sethi, Jens Kiesel, Afroditi Grigoropoulou, Maria M. Üblacker, Longzhu Q. Shen, and Sami Domisch, Hydrography90m: a new high-resolution global hydrographic dataset 2022., doi.org/10.5194/essd-14-4525-2022

References

1. Belikov V.V., Gladkov V.Yu. Using Detailed Digital Terrain Models for Hydraulic Modeling of River Flows// Hydrotechnical Construction. – 2015. - No. 8.
2. Gartsman B.I., Bugaets A.N. Geoinformation Modeling of River Systems: Tasks, Methods, and Software Solutions// Water Resources. – 2012. – Vol. 39, No. 2.
3. Melikhov M.V., Remote monitoring of natural water resources in the construction zone of mining and hydraulic engineering complexes // Mining Institute of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia.
4. Motovilov Yu.G. Certificate of State Registration in Rospatent No. 2013610703. ECOMAG. Russia, 2013.
5. Software package STREAM 2D CUDA for calculating flows, bottom deformations and transport of pollution in open streams using CUDA technology (on NVIDIA GPUs) // A.I. Aleksyuk, V.V. Belikov. Certificate of State Registration of Computer Programs No. 2017660266. Russian Agency for Intellectual Property, 2017.
6. Sokolov A.S., Geoinformation Systems in Ecology and Environmental Management: Textbook. Gomel: Gomel State University named after F. Skorina, 2014. 224 p.
7. Shalygin A.L., Kurilovich V.V. The use of unmanned aerial vehicles for monitoring morphometric parameters of water bodies // Land reclamation and water management. – 2021. №4.
8. Holland, Edward C.; Churyumova, Elvira, Climate Change, Desertification, and Water Stress in Kalmykia doi.org/10.3929/ethz-b-000620733
9. Giuseppe Amatulli, Jaime Garcia Marquez, Tushar Sethi, Jens Kiesel, Afroditi Grigoropoulou, Maria M. Üblacker, Longzhu Q. Shen, and Sami Domisch, Hydrography90m: a new high-resolution global hydrographic dataset 2022., doi.org/10.5194/essd-14-4525-2022

7.2 ЦИФРОВАЯ ЗРЕЛОСТЬ И РИСКИ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

В мировом пространстве со значительной интенсивностью распространяются сквозные технологии четвертой научно-технической революции (искусственный интеллект, квантовые технологии, базы данных, робототехника, виртуальная реальность, цифровые двойники), способные обеспечить инновационное преобразование агропромышленного комплекса России [1,3,9].

Растениеводство, как одна из отраслей сельского хозяйства, обеспечивает функционирование многокомпонентного процесса, включающего постоянный *мониторинг* и организацию аграрной деятельности, разделенной на функциональные блоки: *производственную* (подготовка почвы, сев, выращивание, уборка, поддержание плодородия почв); *логистическую* (организация движения материальных потоков); *коммерческую* (хранение, организация «окон отгрузки» и «окон загрузки», подписание договоров и контрактов, страхование и оценка рисков); *организационную* (закупка семян, удобрений, пестицидов, найм и обучение работников) [3,4,5]. Вследствие сложности проводимой работы, КФХ стремятся автоматизировать производственную деятельность, которая регулируется на нескольких уровнях.

На верхнем уровне находится система управления бизнес-процессами EPM (*Enterprise Performance Management*), которая обеспечивает многофакторный мониторинг и организацию предпринимательской деятельности, и в растениеводстве ограничивается годовым циклом с двумя пределами: *upstream* (выращивание), *downstream* (продажа) и системой научно обоснованных севооборотов. На нижнем уровне сельхозтоваропроизводителю помогает внедрять цифровые технологии и роботизированные технические средства компания Cognitive Pilot (Россия). Исходя из оценки внешних факторов и имеющихся ресурсов, цифровые технологии обеспечивают формирование «Модели аграрного поведения», адаптированной к *рискам*. Все более востребованной становится оценка финансового риска в растениеводстве.

Мелиоративный фонд Южного федерального округа позволяет ежегодно получать высокие урожаи зерна, овощей и фруктов на общую сумму 230 млрд. руб. К *природно-антропогенным* рискам растениеводства относят: чрезмерный забор воды для орошения, значительные потери воды на фильтрацию из оросительных каналов, ухудшение состояния водных экосистем, повышение уровня грунтовых вод, деградацию почв, физический и моральный износ инфраструктуры; к *экономическим* – финансовые, операционные и кредитные операции [4,7,8].

Гипотезой исследования стало утверждение, что цифровая зрелость (VaR-метод, AI - системы Random Forest) в растениеводстве позволяет рассчитать для аграриев финансовый риск производства продукции. Необходимо определение возможностей применения цифрового инструментария в сельскохозяйственном производстве для оценки рисков и инвестиционных вложений в орошаемом земледелии.

В число задач была включена оценка состояния и перспектив развития растениеводства в ЮФО, использования цифровых технологий в расчетах финансовых и инвестиционных рисков и инвестиционных вложений и др.

Исследования базируются на трудах российских и зарубежных ученых, материалах ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» Минсельхоза России, ФГБНУ «Росинформагротех», Информационно-правового портала ГАРАНТ, Росстата. Цифровая зрелость растениеводства подтверждается применением: автоматизированных систем в производственных процессах, использованием беспилотных систем, ГИС-технологий, мобильных программ, обеспечивающих дифференцированное внесение семян, пестицидов и удобрений, освоением умного орошения и дистанционного мониторинга расходования средств производства. Применялись компьютерные программы MS Excel, AI-система Random Forest. *Объектом исследования* выбрана оценка рисков в сельскохозяйственном производстве (растениеводстве).

Мелиоративный комплекс ЮФО включает 1568,38 тыс. га, из них: 1513,81 тыс. га орошаемых земель, 54,568 тыс. га осушенных. Не используются в сельскохозяйственном производстве – 377,574 тыс. га мелиорированных земель, в том числе орошаемых – 376,944 тыс. га. Заметный вклад в обеспечение продовольственной безопасности вносят Краснодарский край, Ростовская и Волгоградская области (таблица 7.1) [7,8,9].

Таблица 7.1. Мелиорация земель в зоне обслуживания государственных мелиоративных систем, 2022 г

Наименование	Всего, тыс. га	Полито	Осушено	Хорошее мелиоративное состояние
ФГБУ «Управление «Астраханмелиоводхоз»	210,872	90,906	0	19,7
ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз»	178,840	54,480		74,7
ФГБУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз»	418,000	176,622	22,090	74,4
ФГБУ «Управление «Адыгеямелиоводхоз»	27,638	9,015		73,4
ФГБУ «Управление «Калммелиоводхоз»	81,400	26,952		1,8
ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз»	264,543	60,539	27,586	69,1
Республика Крым	397,300	0,038		45,0
Севастополь	0	0	0	59,9

Для расчета рисков в растениеводстве использовался цифровой инструментарий: VaR-метод и Random Forest («случайный лес»), позволяющие прогнозировать допустимые потери при реализации инвестиционных проектов. В отличие от традиционного программирования, где человек устанавливает правила, AI-системы самостоятельно выявляют закономерности и просчитывают риски. В состав данных для расчета рисков были включены: год (*Year*); инвестиции, млрд. руб. (*Investments*); господдержка сельского хозяйства, млрд. руб. (*State support for agriculture*); доля господдержки в растениеводстве, % (*Share of state support*); объем продукции растениеводства, млрд. руб. (*Crop products*); темпы роста продукции растениеводства, % (*Growth rate*); финансовый риск, млрд. руб. (рисунок 7.3).

	Year	Investments	Government Support	Share of State Support, %	Crop Products	Growth Rate, %	VaR
0	2024	822.0	558.6	11.9	4707.0000	1.00	3.7
1	2023	1000.0	540.0	11.5	4704.1758	0.89	-819.9
2	2022	982.1	500.0	9.5	5268.0000	1.18	1341.9

Рисунок 7.3 - Фрагмент нейронной сети с исходными данными

Прогнозные значения величины риска для каждого года рассчитывались по формуле:

$$P_{t+1} = (q + 1) * P_t, \quad (7.1),$$

где: q – квантиль; P_{t+1} – величина финансового риска на следующий год.

Динамика стоимости продукции и значения VaR показаны на рисунке 7.4.

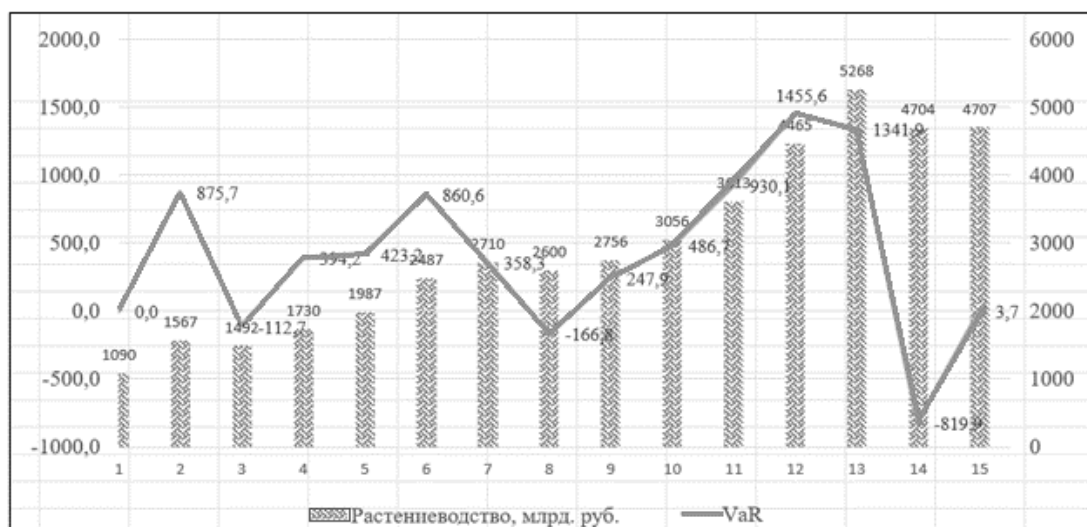


Рисунок 7.4 - Динамика стоимости продукции растениеводства и значений VaR, по годам

VaR – метод позволяет определить «потолок» потерь при инвестировании. В ходе исследования был произведен переименованный результативный признак на target, а с помощью библиотеки model_selection из Scikit-Learn проведено разделение данных на наборы для обучения и тестирования. С помощью библиотеки sklearn tree файл был импортирован для построения «дерева решений».

Визуализация структуры «дерева решений» представлена на рисунке 7.5 [2].

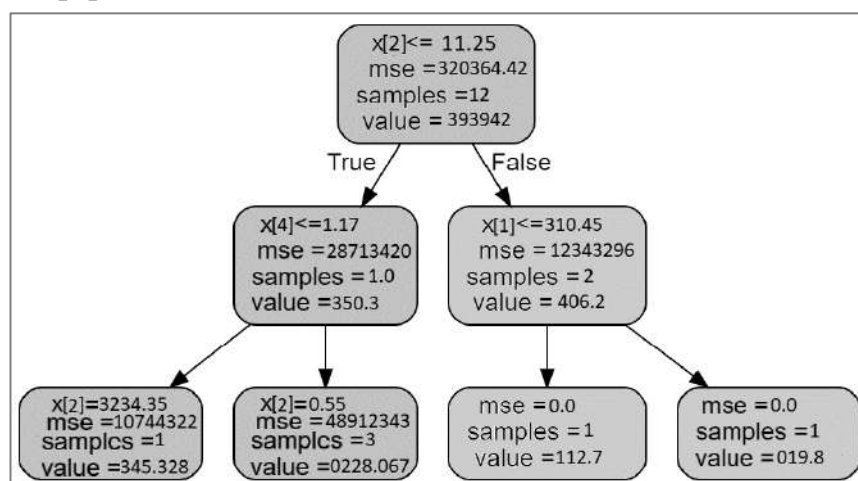


Рисунок 7.5 – Фрагмент DL-модели «Случайный лес»

В результате работы DL-модели RF Regression была получена корреляционная матрица зависимости результативного признака «VaR» (target) от факториальных признаков. Была отмечена сильная положительная связь между «target» и «State support for agriculture» (+ 0,663), и сильная отрицательная связь между «target» и «Share of State Support», %» (- 0,624). Для лучшего восприятия была построена тепловая карта (рисунок 7.6).

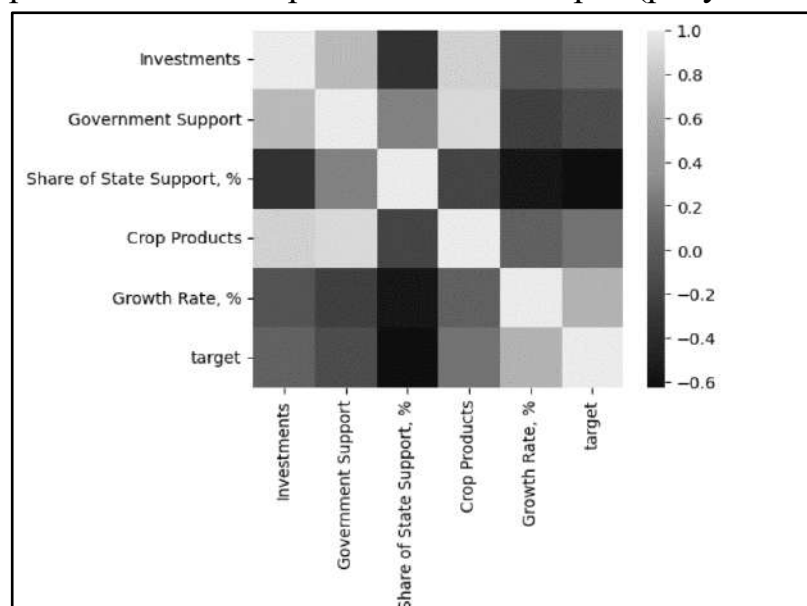


Рисунок 7.6 – Тепловая карта закономерностей параметров

Коэффициенты множественной линейной регрессии для каждого из факторов представлены в таблице 7.2, а модель с прогнозными значениями – в таблице 7.3.

Таблица 7.2 – Коэффициенты множественной линейной регрессии

Свободный член	Investments	Government Support	Share of State Support, %	Crop Products	Growth Rate, %	Target
-8009.428	-0,392838	-21,261008	425,982594	2,481444	1878,3	3,682

Таблица 7.3 – Значения ошибки прогнозирования с помощью VaR - метода

Наименование	Величина
Средняя абсолютная ошибка (Mean Absolute Error)	349.2
Среднеквадратическая ошибка (Mean Squared Error)	234477.6
Квадрат среднеквадратической ошибки (Root Mean Squared Error)	484.2

Для расчета величины финансового риска использовалось уравнение:

$$Y = -8009.428 - 0.248659 * X_1 - 28.27359 * X_2 + 572.664049 * X_3 + 3.067029 * X_4 + 1901.548407 * X_5 \quad (7.2)$$

Прогнозный параметр составил – 866.19:

$$Y = -8009.428 - 0.248659 * 822 - 28.27359 * 558.6 + 572.664049 * 11.86 + 3.067029 * 4707 + 1901.548407 * 1.006 \quad (7.3)$$

Разработанная модель оценки рисков позволила определить ошибки прогнозных значений: средняя абсолютная ошибка (Mean Absolute Error) составила – 349.2; среднеквадратическая ошибка (Mean Squared Error) – 234477.6; квадрат среднеквадратической ошибки (Root Mean Squared Error) – 484.2 и рассчитать прогнозный параметр риска – 866.19 [1,2].

Таким образом, проведенные исследования показали, что зрелость цифрового инструментария позволяет прогнозировать объемы производства продукции в растениеводстве, обосновывать денежные потоки от производственной и инвестиционной деятельности. Проведенное исследование позволило спрогнозировать в 2025 году стоимость продукции растениеводства в 5583,4 млрд рублей, или на 18,6% больше, чем в 2024 году.

Список использованных источников

1. Когнитивная модель прогнозирования устойчивости экономики в условиях рыночной неопределенности и риска / Н. И. Ломакин, М. С. Марамыгин [и др.] // Международная экономика. 2023. № 4. С.123-131.
2. Нейросеть «дерево решений» в составе когнитивной модели для прогнозирования устойчивости экономики РФ // Н.И. Ломакин, М. Марамыгин, Т. Кузьмина [и др.] // Sustainable Development and Engineering Economics. 2023. № 1. С. 82-94. DOI: <https://doi.org/10.48554/SDEE.2023.1.5>.
3. Польшакова Н.В. Перспективы развития растениеводства в условиях цифровизации агропромышленного комплекса / Н. В. Польшакова, М.Н. Уварова, С.Ю. Гришина // Вестник аграрной науки. 2024. № 4. С. 112-120.
4. Рогачёв А.Ф., Медведев А.В., Медведева Л.Н., Куприянова С.В. Экономико-математическое моделирование и обоснование рационального землепользования в агроландшафтах Юга // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2018. № 2 (30). С. 186 - 208.
5. Санду И.С., Завиваев Н.С. Экономические аспекты развития сельскохозяйственного производства в контексте внедрения цифровых технологий // Экономика сельского хозяйства России. 2024. № 12. С. 26-30.
6. Цифровые двойники с использованием агродронов в управлении растениеводством: особенности создания и перспективы / В.И. Абрамов, В.В. Гордеев, А.Д. Столяров // АПК: экономика, управление. 2024. № 4. С. 37-49.
7. Шевченко В.А. Мелиорация земель - стратегический фактор устойчивости развития сельского хозяйства в решении продовольственной безопасности России // Орошаемое земледелие. 2025. №2(49). С.5-6.
8. Щедрин В.Н., Медведева Л.Н. Сценарный подход в развитии орошаемого земледелия Волго-Донского междуречья // Орошаемое земледелие. 2025. №4(51). С.7-15.
9. O. Roiss, L. Medvedeva Innovation in agriculture - An actor in the development of green economy. AIP Conference Proceedings. 2022. 2650. 030019.

References

1. Cognitive Model for Forecasting Economic Stability in Conditions of Varket Uncertainty and Risk / N. I. Lomakin, M. S. Maramygin [et al.] // International Economics. 2023. No. 4. - Pp. 123-131.
2. Neural network "decision tree" as part of a cognitive model for predicting the sustainability of the Russian economy // N.I. Lomakin, M. Maramygin, T. Kuzmina [et al.] // Sustainable Development and Engineering Economics. 2023. No. 1. pp. 82-94. DOI: <https://doi.org/10.48554/SDEE.2023.1.5>
3. Polshakova N.V. Prospects of crop production development in the context of digitalization of the agro-industrial complex / N. V. Polshakova, M.N. Uvarova, S.Y. Grishina // Bulletin of Agrarian Science. 2024. No. 4. Pp. 112-120.
4. Rogachev A.F., Medvedev A.V., Medvedeva L.N., Kupriyanova S.V. Economic and Mathematical Modeling and Justification of Rational Land Use in the Agro-Landscapes of the South // Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2018. No. 2 (30). Pp. 186 - 208.
5. Sandu I.S., Zavivaev N.S. Economic Aspects of Agricultural Development

6. Цифровые двойники с использованием агродронов в управлении растениеводством: особенности создания и перспективы / В.И. Абрамов, В.В. Гордеев, А.Д. Столяров // АПК: экономика, управление. 2024. № 4. С. 37-49.
7. Шевченко В.А. Мелиорация земель - стратегический фактор устойчивости развития сельского хозяйства в решении продовольственной безопасности России // Орошаемое земледелие. 2025. №2(49). С.5-6.
8. Щедрин В.Н., Медведева Л.Н. Сценарный подход в развитии орошаемого земледелия Волго-Донского междуречья // Орошаемое земледелие. 2025. №4(51). С.7-15.
9. О. Ройсс, Л. Медведева Инновации в сельском хозяйстве - важный фактор развития зеленой экономики. Материалы конференции АПР. 2022. 2650. 030019.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1.	Красников Г.Я., Президент Российской Академии наук, академик РАН	Российская Академия наук, г. Москва, Российская Федерация
2.	Кашин В.И., Председатель Комитета Государственной Думы по аграрным вопросам академик РАН	Комитет Государственной Думы по аграрным вопросам, г. Москва, Российская Федерация
3.	Хачиров Б.Б., сенатор Российской Федерации, член Комитета Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию	Комитет Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию, г. Москва, Российская Федерация
4.	Овчинников А.С., академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор	ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, г. Волгоград, Российская Федерация
5.	Хлыстун В.Н., академик РАН, доктор экономических наук, профессор	ФГБОУ ВО Государственный университет по землеустройству, г. Москва, Российская Федерация
6.	Шевченко В.А., академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук	ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация
7.	Щедрин В.Н., академик РАН, доктор технических наук	ФГБНУ «Российский НИИ проблем мелиорации»
8.	Гаркуша С.В., член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук,	ФГБНУ «Федеральный научный центр риса», г. Краснодар, Российская Федерация
9.	Лихацевич А.П., член-корр. НАНБ, доктор технических наук, главный научный сотрудник	РУП «Институт мелиорации» НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь
10.	Новиков А.Е., член-корреспондент РАН, доктор технических наук	ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Волгоград, Российская Федерация
11.	Ольгаренко Г.В., член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор	ФГБНУ ВНИИ «Радуга», г. Коломна, Российская Федерация
12.	Бондарева Г.И., доктор технических наук, главный научный сотрудник	ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация
13.	Дедова Э.Б., доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, главный научный сотрудник	ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация

14.	Захарова О.А., доктор сельскохозяйственных наук	ФГБОУ «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Российская Федерация
15.	Исаева С.Д., доктор технических наук, главный научный сотрудник	ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация
16.	Карпенко Н.П., доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник	ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация
17.	Кирейчева Л.В., доктор технических наук, профессор	ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация
18.	Курбанов С.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор	ФГБОУ ВО Дагестанский ГАУ, г. Махачкала, Российская Федерация
19.	Лоскин М.И., доктор технических наук	ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН», г. Якутск, Российская Федерация
20.	Магомедова Д.С., доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН	ФГБОУ ВО Дагестанский ГАУ, г. Махачкала, Российская Федерация
21.	Мажайский Ю.А., доктор сельскохозяйственных наук	Мещерский филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Рязань, Российская Федерация
22.	Медведева Л.Н., доктор экономических наук	ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Волгоград, Российская Федерация
23.	Мещеряков М.П., доктор технических наук, профессор	ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, г. Волгоград, Российская Федерация
24.	Морковкин Г.Г., доктор сельскохозяйственных наук, профессор	ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», Москва, Российская Федерация
25.	Москвичев А.Ю., доктор сельскохозяйственных наук, профессор	ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, г. Волгоград, Российская Федерация
26.	Новиков А.А., доктор сельскохозяйственных наук	ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Волгоград, Российская Федерация
27.	Носаль А. П., доктор географических наук	ФГБУ РосНИИВХ, Уральский филиал, г. Екатеринбург, Российская Федерация
28.	Нурзода Н.Н., доктор PhD	Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемур, г. Душанбе, Республика Таджикистан
29.	Пыленок П.И., доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник	Мещерский филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Рязань, Российская Федерация
30.	Семененко С.Я., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник	ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Волгоград, Российская Федерация

31.	Соловьев А.М., доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник	ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация
32.	Угрюмова А.А., доктор экономических наук, профессор	ФГБНУ ВНИИ «Радуга», г. Коломна, Российская Федерация
33.	Хисматуллин М.М., доктор сельскохозяйственных наук,	ФГБУ «Управление «Приволжскмелиоводхоз», г. Казань, Российская Федерация
34.	Храбров М. Ю., доктор технических наук, ведущий научный сотрудник	ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация
35.	Шамсутдинов Н.З., доктор биологических наук, профессор РАН	ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса», г. Лобня, Московская область, Российская Федерация
36.	Бахриев С.Х., академик МИА, кандидат технических наук, профессор,	Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан
37.	Давлатшоев С.К., академик ИА РТ, кандидат технических наук, профессор,	Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан
38.	Анженков А.С., кандидат технических наук, доцент	РУП «Институт мелиорации» НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь
39.	Болдырев В.В., кандидат сельскохозяйственных наук	ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Волгоград, Российская Федерация
40.	Боровиков А.А., кандидат технических наук	УО БГСХА, г. Горки, Республика Беларусь
41.	Бурцева Н.И., кандидат сельскохозяйственных наук	ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Волгоград, Российская Федерация
42.	Буряк С.М., кандидат сельскохозяйственных наук	ФГБНУ ВНИИ «Радуга», г. Коломна, Российская Федерация
43.	Головинов Е.Э., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник	ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация
44.	Гостищев В.Д., кандидат сельскохозяйственных наук	ФГБНУ «РосНИИПМ», г. Новочеркасск, Российская Федерация
45.	Гулин А.В., кандидат сельскохозяйственных наук	ФГБНУ ВНИИООБ – филиал ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», г. Камызяк, Российская Федерация
46.	Дедов А.А., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник	ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация
47.	Дуброва Ю.Н., кандидат сельскохозяйственных наук	УО БГСХА, г. Горки, Республика Беларусь

48.	Евсенкин К.Н., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник	Мещерский филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Рязань, Российская Федерация
49.	Земляницына С.В., кандидат сельскохозяйственных наук	ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Волгоград, Российская Федерация
50.	Ивина И.П., кандидат сельскохозяйственных наук	ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Волгоград, Российская Федерация
51.	Ильинский А.В., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, доцент	Мещерский филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Рязань, Российская Федерация
52.	Исаев О.И., кандидат экономических наук	ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация
53.	Калиниченко Р.В., кандидат сельскохозяйственных наук	ФГБНУ «ФИЦ Почвенный институт им. В.В. Докучаева», г. Москва, Российская Федерация
54.	Кепбанов П.А., кандидат биологических наук	НИПРЖМ Министерства охраны окружающей среды, г. Ашхабад, Туркменистан
55.	Куприянов А. А., кандидат технических наук	ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Волгоград, Российская Федерация
56.	Мешик О.П., кандидат технических наук, доцент	УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь
57.	Молоканцева Е.И., кандидат сельскохозяйственных наук	ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Волгоград, Российская Федерация
58.	Негматов Т.А., кандидат технических наук, доцент	ИГССС НАНТ, г. Душанбе, Республика Таджикистан
59.	Паутова Л.Е., кандидат психологических наук	ФГБНУ ВНИИ «Радуга», г. Коломна, Российская Федерация
60.	Пономаренко Т.С., кандидат технических наук	ФГБНУ «РосНИИПМ», г. Новочеркасск, Российская Федерация
61.	Попова Н.П., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник	ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация
62.	Рахманов А.А., кандидат технических наук, доцент	ИГССС НАНТ, г. Душанбе, Республика Таджикистан
63.	Рогачев Д.А., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник	ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация
64.	Родин К.А., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник	ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Волгоград, Российская Федерация

65.	Филь П.П., кандидат биологических наук	ФГБНУ «ФИЦ Почвенный институт им. В.В. Докучаева», г. Москва, Российская Федерация
66.	Хожанов Н.Н., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник	КазНИИВХ, г. Тараз, Республика Казахстан
67.	Черникова О.В., кандидат биологических наук, доцент	Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний, г. Рязань, Российская Федерация
68.	Шамсутдинова Э.З., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент	ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса», г. Лобня, Московская область, Российская Федерация
69.	Гертман Л.Н., старший научный сотрудник	Белорусский государственный университет, г Минск, Беларусь
70.	Агапова С.А., научный сотрудник	ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Волгоград, Российская Федерация
71.	Голубенко М.И., Заслуженный изобретатель РФ, научный сотрудник	ООО «Мещерский научно-технический центр», г. Рязань, Российская Федерация
72.	Джумамурадова Г.А., научный сотрудник	Национальный институт пустынь, растительного и животного мира Министерства охраны окружающей среды Туркменистана, г. Ашхабад, Туркменистан
73.	Дурдыева О.П., научный сотрудник	НИПРЖМ Министерства охраны окружающей среды, г. Ашхабад, Туркменистан
74.	Кульчев А.Ю., научный сотрудник	ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация
75.	Розыев С.Ч., научный сотрудник	НИПРЖМ Министерства охраны окружающей среды, г. Ашхабад, Туркменистан
76.	Сазонов А.А., научный сотрудник	Белорусский государственный университет, г Минск, Беларусь
77.	Беденко А.Е., младший научный сотрудник	ФГБНУ ВНИИ «Радуга», г. Коломна, Российская Федерация
78.	Боровая А.К., младший научный сотрудник	ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация
79.	Бреева А.В., младший научный сотрудник, младший научный сотрудник	ФГБНУ «РосНИИПМ», г. Новочеркасск, Российская Федерация
80.	Габуншина А.А., младший научный сотрудник	ФГБНУ ВНИИООБ – филиал ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», г. Камызяк, Российская Федерация
81.	Сенько Е.И., младший научный сотрудник	Белорусский государственный университет, г Минск, Беларусь

82.	Сиуков С.С., младший научный сотрудник	ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Волгоград, Российская Федерация
83.	Хархардинов Н.А., младший научный сотрудник	ФГБНУ «ФИЦ Почвенный институт им. В.В. Докучаева», г. Москва, Российская Федерация
84.	Шведенко К.А., младший научный сотрудник	ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация
85.	Шишлянникова М.В., младший научный сотрудник	ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Волгоград, Российская Федерация
86.	Арискин М.Р., аспирант	ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация
87.	Богомолова Н.В., аспирант	ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», г. Москва, Российская Федерация
88.	Кажгалиев А.С., аспирант	ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Волгоград, Российская Федерация
89.	Власкин В.Ф., ведущий инженер	Уральский филиал ФГБУ «РосНИИВХ», г. Екатеринбург, Российская Федерация
90.	Лапина Т.В., ведущий инженер, аспирант	ФГБУ РосНИИВХ, Уральский филиал, г. Екатеринбург, Российская Федерация
91.	Максимов П.Е., аспирант	ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация
92.	Николаев А.А., аспирант	ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация
93.	Осадчий Д.М., аспирант	ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», Москва, Российская Федерация
94.	Тютяева И.А., аспирант	ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация
95.	Хрулёв М.А., аспирант	ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», г. Москва, Российская Федерация
96.	Бегланов А.Н., главный инженер	Национальный институт пустынь, растительного и животного мира Министерства Охраны окружающей среды Туркменистана, г. Ашхабад, Туркменистан
97.	Кузьмина А. А., ведущий инженер	ФГБУ РосНИИВХ, Уральский филиал, г. Екатеринбург, Российская Федерация
98.	Бессуднова А. Г., инженер	ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация

99.	Чернавских Д.А., инженер	ФГБУ РосНИИВХ, Уральский филиал, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, Россия г. Екатеринбург, Россия
100.	Борушко М.В., магистр технических наук	УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь
101.	Протасевич А.С., магистр	УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь
102.	Хлывнюк А.Р., магистр	УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь

Научное издание

**МЕЛИОРАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ДЛЯ
УСТОЙЧИВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВИЕМ**

Коллективная монография

Компьютерная верстка
и техн. редакция – Е.Н. Гетьман

Подписано в печать 22.04.2026 г.
Усл. печ. л.29,25 Тираж 500 экз.

Издательство ФНЦ ВНИИГиМ
им. А.Н. Костякова
127434 Москва, ул. Большая
Академическая, 44, корп. 2

Отпечатано с готовых материалов
в типографии АО «Т 8 Издательские Технологии»
105187, Москва, Волгоградский пр-т, 42, корп. 5
www.t8print.com