

ных удобрений и оборудованы соответствующими широкозахватными штангами. Поверхностное внесение жидких удобрений может быть осуществлено ОШТ-1 и ОПШ-15 – прицепными штанговыми тракторными опрыскивателями и универсальными подкормщиками-опрыскивателями ПОУ и ПОМ-630. Для внутрпочвенного внесения ЖКУ применяют серийные машины ПОМ-630 и ПОУ в агрегате с культиваторами-растениепитателями КРН-4,2 или КРН-5,6.

ПРИРОДООХРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕЛИОРАЦИЙ

УДК. 631. 417.

ЛАНДШАФТНО-МЕЛИОРАТИВНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

Н.Г. Ковалёв, Д.А. Иванов

ВНИИМЗ, Тверь, Россия

Интерес к ландшафтному земледелию обусловлен рядом обстоятельств, среди которых ведущими можно назвать следующие:

1. Конкретная потребность перехода от массы разрозненных эмпирических знаний в области земледелия к теории адаптации производства, позволяющей планировать и детально разрабатывать адаптационные мероприятия для территорий разного генезиса и иерархического уровня; прогнозировать характер изменения производственных и природных процессов при различных сценариях адаптации; достигать результатов не только в увеличении рентабельности производства, но и в сфере сохранения окружающей среды; инженерно реконструировать естественные природно-территориальные комплексы, трансформируя их в эстетически привлекательные культурные агроландшафты.

2. Создание возможности преодоления экологического кризиса, экономии огромных средств на рекультивации нарушенных ландшафтов, предпосылок для отказа от концепции «золотого миллиарда», существенного расширения ареалов, комфортных для проживания человека, повышения качества жизни сельского населения.

Главной целью ландшафтного земледелия является оптимизация сельскохозяйственного производства, направленная на существенное уменьшение экологических рисков и издержек при получении единицы продукции. Ландшафтно-мелиоративные системы земледелия (ЛМСЗ), не отвергая интенсивных подходов к процессу производства продукции, отличаются от современных химических систем наличием жесткой ландшафтно-экологической адресности технологий, которая позволяет, сохраняя низкие экономические издержки производства единицы продукции, существенно снизить последующие затраты на рекультивацию ландшафтов. основополагающим постулатом, при разработке ЛМСЗ, является положение, изложенное в работах Дж. Аци, Л.Г. Раменского,

А.А. Жученко, о том, что «...единственным, прямым и достоверным оценщиком природных условий является сама растительность» [1, 8, 3]. Суть излагаемого подхода заключается также и в учете предостережения, высказанного Л.Г. Раменским о том, что сведение экологии к ее отражению лишь в растительности приводит к лишению ее объективного основания и не дает выводов об агротехнических возможностях оптимизации окружающей среды [8]. Все вышесказанное определяет выбор основного метода исследования агрогеографии – изучения адаптивных реакций растений на изменяющиеся условия ландшафтной среды в пределах разнообразных территорий.

Достаточно широко термин «адаптивные реакции растений» использует А.А. Жученко, рассматривая их как главный механизм приспособления растительности к условиям окружающей среды. Он дает определение адаптивной реакции (адаптивного потенциала) вида как его способности к приспособлению в онтогенезе, воспроизведению и генотипической изменчивости [3]. Нами, под адаптивными реакциями растений, понимается пространственная или временная вариабельность основных показателей их жизнедеятельности в условиях изменения параметров окружающей среды [6]. Главным показателем жизнедеятельности растений является их урожайность. В процессе разработки ЛМСЗ исследуется изменение продуктивности популяций культурных растений под воздействием комплекса природных и антропогенных факторов.

Агрогеографическим результатом изучения адаптивных реакций растений является определение границ агроэкологически-однотипных территорий (АОТ). Это понятие впервые введено А.А. Жученко в 1994 году [3]. Под АОТ он понимает пространства, объединяющие сравнительно однородные по геоморфологии, литологии, типу почвы, гидрологическому режиму, климату (микроклимату) и другим показателям зоны, районы, массивы земель, или производственные участки. То есть это участки, слагаемые однородными компонентами и характеризующиеся протеканием однотипных процессов. Следовательно, АОТ – территории любого иерархического ранга, в пределах которых адаптивные реакции культуры имеют однотипный характер. Можно говорить о трех типах АОТ:

1. Пространственно-гомогенных, характеризующихся статистически однородным фоном урожайности – они выделяются на основе статистического сравнения средних значений урожайности в различных точках опробования и отражаются, как правило, в виде изолинейных карт.

2. Динамически-гомогенных - территориях, в пределах которых многолетняя динамика вариабельности урожая однотипна. Они выделяются на основе сопоставления характера многолетней динамики урожайности культур в различных точках методами кластерного или дискриминантного анализа и отражаются на картах в виде ареалов с однотипной временной динамикой (относящихся к единому кластеру).

3. Процессно-гомогенных, характеризующихся однотипностью адаптивных реакций (отклика) растений на условия ландшафтной среды. Они выявляются в ходе регрессионного анализа и отражаются на карте в виде ареалов, отличающихся оптимальными, для произрастания конкретной культуры, пара-

метрами какого-либо фактора или их группы. Соотношения между этими типами АОТ пока мало изучены, однако представляют несомненный интерес для теоретической агрогеографии.

Агроэкологическим результатом изучения адаптивных реакций растений является определение факторов, наиболее значимо влияющих на продукционный процесс культуры в пределах АОТ. Агротехнологическим результатом этой процедуры является разработка серии мероприятий по пассивной или активной адаптации продукционного процесса к условиям данной АОТ или трансформации ее природной среды для максимального приспособления к потребностям растения.

Центральным моментом ландшафтной адаптации сельскохозяйственного производства является разработка разнообразных моделей ЛМСЗ для условий агрогеосистем (АГС) различных иерархических уровней. Сельскохозяйственная география (пространственная агроэкология) – отрасль знаний, изучающая процессы генезиса, эволюции и функционирования агрогеосистем, а также способы территориальной организации сельскохозяйственного производства на принципах адаптации к их структурным особенностям. То есть это научное направление обладает своим объектом исследования, называемым «агрогеосистемой», что является непременным условием самостоятельности науки.

Понятие агрогеосистемы, на наш взгляд, является краеугольной дефиницией методологии адаптивного землепользования. Агрогеосистема (АГС) представляет собой антропогенно-измененный инвариант природной географической системы (геосистемы). По-видимому, первым подробную трактовку термина «агрогеосистема» предложил А.И. Голованов [2], который понимает под ней «...природно-техническую ресурсо-воспроизводящую и средообразующую гео (эко) систему, она служит объектом сельскохозяйственной деятельности и, одновременно, средой обитания культурных растений, домашних животных и человека». Ценность данного определения проявляется в отражении двойственности природы этого образования. Его недостатком является недооценка автором влияния особенностей пространства на сельскохозяйственное производство. Вследствие этого наблюдается явная эклектичность коренного термина (гео (эко) система), то есть здесь смешиваются безразмерные (экосистема) и пространственно детерминированные (геосистема) понятия.

Под агрогеосистемой мы понимаем антропогенно-преобразованную гео систему, характеризующуюся как условиями природной среды обрамляющего ее геокомплекса конкретного иерархического уровня, так и агротехнологическими особенностями ведения в ее пределах сельскохозяйственного производства. То есть АГС - антропогенно-природное территориальное образование, характеристики которого обусловлены во многом человеческой деятельностью, являющееся производным от исходного природного территориального комплекса. Главная особенность любой АГС – единство происхождения ее территории (генетическое единство). Это не означает отсутствия вариативности условий природной среды в ее пределах. Это обуславливает, во-первых, единую причину происхождения данной территории (например, таяние ледника), а во-вторых, системное единство всех, входящих в нее, разнообразных частей и

компонентов. Этим агрогеосистема принципиально отличается от АОТ, которая характеризуется не только единым генезисом, но и однородностью компонентов. Поэтому, в пределах агрогеосистемы может существовать несколько АОТ. Возникает проблема изучения степени совпадения границ АГС и АОТ. Выделение, в пределах конкретной территории, АГС и АОТ различного типа позволяет наиболее полно адаптировать сельскохозяйственное производство к реальным условиям, так как при этом определяется максимальное число вертикальных (межкомпонентных) и горизонтальных (межкомплексных) функциональных взаимосвязей и характер влияния их на культурную растительность.

Агрогеосистемы любого иерархического уровня в нашей трактовке отделяется друг от друга только естественными границами. Как любая геосистема, АГС иерархична по своей сути, то есть, являясь составной частью более крупного антропогенно-природного территориального образования, она сама состоит из более мелких агрогеосистем. Это свойство АГС позволяет изучать адаптивные реакции растений на условия природной среды в двух аспектах, условно названных нами «дискретным» и «континуальным». Дискретное изучение адаптивных реакций подразумевает жесткую привязку исходных данных и результатов исследований только к рубежам изучаемой АГС, при континуальном же аспекте исследования, объекты изучения могут иметь искусственные границы (например, границы административных образований), в то время как характер рубежей внутри объекта исследования учитываются значительно меньше.

АГС является антропогенно-измененным инвариантом геосистемы, в пределах которой присутствуют ее сельскохозяйственные модификации и ландшафтно-техногенные системы. Под сельскохозяйственными модификациями понимается такие территориальные комплексы, производные от естественных геосистем, в которых антропогенному изменению подвергается один или несколько подчиненных компонентов (как правило, растительность и почвенный покров), в то время как характер их геолого-геоморфологического фундамента остается неизменным [7]. К сельскохозяйственным модификациям можно отнести сенокос на месте заливного луга, пашню на месте бывшего леса и т.д. Сельскохозяйственные модификации различаются по степени антропогенной трансформации. Так, интенсивность трансформации ПТК возрастает в ряду пастбище, культурное пастбище, культурный сенокос, пашня, мелиорированная пашня. Последний член ряда, по существу, относится уже к ландшафтно-техногенным системам. Сами агрогеосистемы, по количеству и общей площади в них сельскохозяйственных модификаций, а также по степени их антропогенной трансформации могут быть разделены на слабо-, средне- и сильноизмененные [7]. Специфика сельскохозяйственных модификаций ландшафтов состоит в принадлежности их к типу кратковременных, регулируемых человеком комплексов. Они, как и все антропогенные ландшафты, являются природными комплексами и, хотя и созданы человеком, в своем развитии подчиняются природным закономерностям. При прекращении человеческого воздействия, сельскохозяйственная модификация приобретает природные черты исходного ПТК (например, луг зарастает лесом, пашня превращается в поляну и т.д.).

Ландшафтно-техногенные системы образованы природным и техническим блоками (подсистемами), развитие которых подчиняется двум разным закономерностям: природным и социально-экономическим. К ним относятся и мелиоративные системы, которые могут быть как пассивными (осушительные системы), так и активными (системы двойного регулирования водно-воздушного режима).

Основной парадигмой сельскохозяйственной географии можно считать учет, при планировании производственных мероприятий, особенностей взаимоотношений агрогеосистем различных иерархических уровней. На практике это означает, что при правильной адаптации сельскохозяйственного производства необходимо учитывать не только особенности конкретных полей и хозяйств, но и природные условия макротерриторий, в которых они расположены.

Агрогеосистемы различных уровней выделяются на местности и наносятся на карту в процессе районирования, опирающегося на определенные принципы типизации. Основа иерархической парадигмы – типизация агрогеосистем – схема соподчинения (иерархии) различных агрогеографических образований.

Вышеприведенное определение агрогеосистемы позволяет, в качестве основополагающих принципов типизации АГС, использовать огромные наработки отечественных физико-географов, исповедующих в этом вопросе комплексно-генетический подход. Пример подобного подхода к типизации дан в нашей работе [4].

Литература

1. Ацци Дж. Сельскохозяйственная экология. М., 1959, -480с.
2. Голованов А.И., Зимин Ф.М. Природообустройство (курс лекций). МГУП, 2000, -150с.
3. Жученко А.А. Стратегия адаптивной интенсификации сельского хозяйства (концепция). Пушкино, 1994, -148с.
4. Иванов Д.А. Ландшафтно-адаптивные системы земледелия (агроэкологические аспекты). Тверь, 2001, -304с.
5. Ковалев Н.Г., Смирнов А.А., Иванов Д.А. и др. Теоретические основы создания адаптивных ландшафтно-мелиоративных систем земледелия и их типовые модели (проекты) для различных природно-экономических условий гумидной зоны. Кн.1, - Тверь, 2000, -119с.
6. Ковалев Н.Г., Ходырев А.А., Иванов Д.А., Тюлин В.А. Агрландшафтоведение. РАСХН, Минсельхоз, ТГСХА, ВНИИМЗ, Учебное пособие, Тверь-Москва, 2004, 490с.
7. Прокаев В.И. Физико-географическое районирование. М.: Просвещение, 1983, -176с.
8. Раменский Л.Г. Избранные работы. Л., 1971, -234с.

УДК 631.48

АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНАЯ МЕЛИОРАЦИЯ БАРАБЫ МЕТОДОМ ЭКОЛОГО-ГАЛОГЕОХИМОГЕННОЙ СОПРЯЖЕННОСТИ ПОЧВ И РАСТЕНИЙ

М.Т. Устинов

ФГУП «Запсибгипроводхоз», Новосибирск, Россия

К пониманию и раскодировке потенциала плодородия почв Барабинской равнины (Барабы) необходим разносторонний, но специфический подход, так как Бараба – это, не только огромная территория (1,4 тыс. км²) Западной Сиби-

ри, но и многослойная сложномозаичная с высокой динамикой почвообразовательных процессов и периодически пульсирующей аридизацией и обводнением мегаэкосистема, имеющая многообразие разнообразных экосистем.

Концептуально-стратегические особенности мелиорации плодородия почв Барабы в первую очередь обусловлены широким спектром почв, находящихся в сложных сочетаниях гидроморфных и полугидроморфных, в разной степени засоленных или заболоченных, трансформирующихся в автоморфные незасоленные на фоне слабой естественной дренированности (с наличием гривного рельефа) территории и общей аридизации климата [1].

Один из путей наиболее полного рационального использования эколого-мелиоративного потенциала территории Барабы и её почвенного покрова – это способ снижения уровня лимитирующих факторов плодородия почв с помощью их галогеохимического сопряжения с потенциалом соли-солонцеустойчивости культурных растений.

Освоение засоленных и солонцеватых земель жизненно необходимо, поскольку около 25% почв планеты в той или иной мере засолены, значительная часть почв осолонцована. Если принять во внимание, что две трети Земли покрыты водами мирового океана со средней соленостью 35%, то можно сделать следующий вывод: основная масса живого вещества (в том числе преобладающее число представителей флоры) Земли осуществляет свое развитие в присутствии высокого содержания солей [2].

Уникальным полигоном засоленных и солонцеватых земель является Бараба. Пульсирующая аридизация территорий, повышенная минерализация грунтовых вод, в также палеогалогенез и особенности современного соленакопления лежат в основе причинно-следственных отношений галогеохимических процессов на территории юга Западной Сибири. В результате одним из лимитирующих факторов плодородия почв становятся засоление и солонцеватость. Практически все почвы лесостепной и степной зон юга Западной Сибири в разной степени солонцеваты и засолены, что является определяющим при поиске оптимальных способов их рационального использования.

Засоление и солонцеватость почв традиционно корректируются мелиоративными мероприятиями: агрономическими, агрохимическими, химическими (коренная мелиорация) или гидротехническими (промывки, орошение, дренаж).

В практике земледелия применяется ещё один вид мелиоративных мероприятий – фитомелиорация. При этом способе добиваются улучшения плодородия почв с помощью растений.

Однако применение фитомелиораций в сельском хозяйстве до настоящего времени носит стихийный и локальный характер и в должной мере не реализовано. Между тем исследования Н.В. Орловского [3] и А.А. Шахова [4] предполагают возможность широкой практической её реализации. Это направление актуально в поиске методов рационального природопользования.

Зарубежные исследователи [5-7] уделили много внимания устойчивости растений к засолению и солонцеватости почв. Но, тем не менее, до сих пор исследования по соли-солонцеустойчивости растений фрагментарны и не раскрывают особенностей взаимосвязи «почва-растение». Многовековая практика

земледелия свидетельствует о способности многих сельскохозяйственных растений произрастать на засоленных и солонцеватых почвах. Это расширяет возможность использования засоленных и солонцеватых почв и служит основой для разработки агробиологических мелиоративных мероприятий.

Необходимо исходить из основного принципа солеустойчивости, что растения должны не только свободно переносить значительное засоление почвы, но лучшего развития в определенные периоды даже нуждаться в некотором засолении [4]. Данное высказывание является ключевым моментом в рассматриваемой нами оценки эколого-мелиоративного потенциала территории и организации адаптивно-ландшафтной мелиорации с рациональным использованием эволюционно-генетических особенностей растений.

Почвенный покров является средой, в которой заложена родословная растений, средой, которая закодирована в их эволюционно-генной памяти и закреплена в механизме выживания и благополучия роста. Так культурные формы (сорты) свеклы до сих пор обладают рядом эколого-физиологических особенностей, подчеркивающих галофитную природу их предков [4]. Поэтому одним из почвенно-мелиоративных показателей оценки эколого-мелиоративного потенциала территорий должна стать соле-солонцеустойчивость растений.

Предлагаемый нами метод рациональной эколого-галогеохимогенной сопряженности почв и культурных растений позволяет оптимизировать организацию адаптивно-ландшафтного земледелия. Анализ сельскохозяйственного производства Западной Сибири показывает, что оно чаще всего ведется нерационально, без учета эколого-мелиоративного потенциала территорий, регионально-генетических особенностей плодородия почв и эволюционно-генетических особенностей выращиваемых на них сельскохозяйственных культур. Примером могут служить столовая свекла и подсолнечник, выращиваемые на силос на высокоплодородных пойменных и черноземных почвах, хотя их высокая соле-солонцеустойчивость позволяет произрастанию на менее плодородных почвах, той или иной степени засоления и солонцеватости. А более плодородные почвы могут быть использованы под культуры чувствительные к этим негативным процессам. Изложенное дает закономерное основание внедрения метода рациональной эколого-галогеохимогенной сопряженности почв и культурных растений. Сущность метода заключается в оптимизированном подборе сельскохозяйственных культур к структуре почвенного покрова и генетическим особенностям почв.

Эколого-экономическая целесообразность метода галогеохимогенной сопряженности почв и культурных растений обусловлена:

- уменьшением площадей плодородных земель за счет антропогенеза и техногенеза;
- значительным распространением на юге Западной Сибири естественно засоленных и солонцеватых земель на фоне высокой комплексности почвенного покрова;
- большой сложности учета токсических факторов в солонцовых почвах;
- весьма узкими пределами порога токсичности обменного натрия (1-2 мг-экв\100 г почвы) [8], которые требуют очень тонкую коррекцию плодородия

дия солонцовых почв с помощью доз мелиорантов, что не всегда возможно в практике земледелия;

- сложной динамикой пульсирующего засоления – рассоления и осолонцевания - разсолонцевания почв Западно Сибири, что делает, чаще всего, нецелесообразным применение химической мелиорации;
- необходимостью включения в севообороты соле-солонцеустойчивых сельскохозяйственных культур, в связи с широким распространением засоленных и солонцеватых почв эколого-мелиоративного потенциала территории, а также внедрение технологии адаптивно-ландшафтного земледелия;
- значительно высокой потенциальной производительностью засоленных почв в сравнении с незасоленными [4];
- сложной диагностикой солонцеватости почв, открытой и нерешенной задачей, как за рубежом, так и в России;
- более широким диапазоном соле-солонцеустойчивости растений Западной Сибири, в следствии периодических повышения обводненности по сравнению с сухими районами Заволжья или Средней Азии [9];
- целесообразностью повышения биотического потенциала продуктивности территорий путем специального подбора соле-солонцеустойчивости сельскохозяйственных культур;
- возможностью вовлечения в сельскохозяйственное производство сильно-засоленных территорий и малопродуктивных земель (особенно Барабинской и Кулундинской равнин), где отсутствие стока и сложность рельефа (чередование грив и западин) не только затрудняют промывки, но чаще всего проведение их невозможно, что исключает и химическую мелиорацию;
- сдерживанием процессов засоления почв, находящихся в ирригационном режиме при сельскохозяйственном производстве, введением в севооборот соле-солонцеустойчивых культур;
- поддержанием благоприятного солевого баланса почв, в условиях орошения водами повышенной минерализации, путем биологического выноса солей солеустойчивыми сельскохозяйственными культурами.

Таким образом, экосистемный метод оценки особенностей галогеохимогенной сопряженности почв и растений позволяет организовать севообороты в соответствии с принципами рационального природопользования (адаптивно-ландшафтного земледелия) и эколого-экономической целесообразности эксплуатации почвенного плодородия.

В основу метода эколого-галогеохимогенной сопряженности почв и растений и его дальнейшего развития нами положены следующие ключевые понятия:

- солонцеустойчивость есть не признак, а процесс [Генкель, 1950];
- в какой бы географической зоне и на какой бы почве не росли соле-солонцеустойчивые культурные растения (например, свекла) они сохра-

няют черты своего экологического прошлого, что предопределяет в какой-то степени их устойчивость к засолению и солонцеватости земель [4].

- географическое различие потенциала плодородия почв отражается на солеустойчивости особей одного вида растений, повышая или понижая степень их соле-солонцеустойчивости [4];
- эколого-физиологические особенности культурных растений сохраняющие галофитную природу своих предков в симбиозе с типом характером засоления и солонцеватости, а также генезисом почв определяют соле-солонцеустойчивость в настоящем в соответствии эколого-мелиоративного потенциала территории и их почвенного покрова;
- солеустойчивость растений – это также способность растений влиять на почвенную среду, изменяя её в сторону повышения плодородия почвы. С изменением условий среды изменяется и солеустойчивость [4];
- чем выше природная (естественная) соле-солонцеустойчивость растения, тем шире диапазон рационального использования эколого-мелиоративного потенциала территории и её почвенного покрова;
- оптимальность подбора экологической ниши культурному растению зависит, как от его степени соле-солонцеустойчивости, так же зависит от детальности и глубины исследования эколого-мелиоративного потенциала территорий и их почвенного покрова;
- для экологической характеристики засоленных почв очень важным является их водно-солевой режим, оказывающий самое существенное влияние на рост и развитие растений;
- солеустойчивые сорта обладают высокой водонасасывающей силой и слабой способностью при прорастании поглощать соли [4];
- измерение засоленности почвы в сочетании с точным установлением данных о солеустойчивости растений способствуют своевременной диагностике явлений засоления [7];
- степень соле-солонцеустойчивости (высокая, средняя, низкая) есть обобщенный относительно-условный показатель качественной выраженности устойчивости растений к засолению и солонцеватости не только эколого-мелиоративного потенциала территории и почв, но и относительно других растений, утверждённый временем и различными исследованиями в разных странах с различным эколого-мелиоративным потенциалом территорий.

Так как соле-солонцеустойчивость сельскохозяйственных культур величина динамичная и находится в многофакторной зависимости эколого-мелиоративного потенциала территорий почвенного покрова и эколого-физиологического состояния растений, то такая величина может носить лишь ориентировочный характер.

Таким образом, солонцеустойчивость растений есть способность в процессе приспособления к засоленности почвы переносить почвенное засоление, развивая при этом активные эколого-биологические реакции, направленные на усиление жизнестойкости растения в этих условиях [4];

При рациональном использовании эколого-мелиоративного потенциала территории Западной Сибири, и в частности Барабы, с учетом соле- и солонцеустойчивости сельскохозяйственных культур, в сфере внимания практиков земледельцев и исследователей, должны быть в первую очередь перспективные и традиционно выращиваемые в Западно-Сибирском регионе кормовые культуры, к которым, в первую очередь, можно отнести свеклу (столовую, кормовую, сахарную), подсолнечник на силос, люцерну (синегибридную, желтогибридную, пестрогибридную), костер безостый, донник (белый, желтый) и другие.

Свекла (кормовая, сахарная и столовая), как указывал еще в 1946 году Н.В. Орловский [10] для Западной Сибири является специфической культурой, так как это особо солеустойчивая культура, под которую возможно занять засоленные земли малопригодные для других полевых и овощных культур.

Культурные формы (сорты) свеклы до сих пор обладают рядом эколого-физиологических особенностей, подчеркивающих галофитную природу их предков. У свеклы наследственно закреплена потребность в солях. Это растение накапливает хлор в очень больших количествах, особенно на засоленных почвах. Другие соли менее благоприятны для свеклы, но и они способствуют её росту и развитию [4].

В силу галофитной природы свекла при отсутствии засоления оказывается по аналогии с солончаками в худших условиях водоснабжения. Сахарная свекла легко переносит высокие концентрации солей, как при хлоридно-сульфатном, так и при содово-сульфатном засолении и может произрастать даже на корково-столбчатых сильно-солончаковых солонцах и на хлоридносульфатных солончаках [10]. Однако выявилось, что, несмотря на выдающуюся солеустойчивость свеклы, все же практически её можно использовать только на слабо-солончаковых луговых почвах. Высокая чувствительность семян к засолению во время прорастания и в первые стадии развития может приводить уже на средне-солончаковых почвах к печальным результатам, особенно в годы с сухой весной.

На луговых слабо-солончаковых почвах отмечены наиболее высокие урожаи, значительно превышающие урожаи этой культуры более высоких незасоленных, но более сухих участках занятых черноземно-луговыми почвами. Важным моментом рационального использования эколого-мелиоративного потенциала Барабы, является то, что кроме засоления, близость грунтовых вод оказывает положительное воздействие на урожай свеклы.

Являясь холодостойкой культурой, свекла выносит поздние весенние и ранние осенние заморозки, что делает её весьма перспективной кормовой культурой для Западно-Сибирского региона и особенно для Барабы.

Подсолнечник – культура, которая в Западной Сибири повсеместно выращивается на силос. В работах Н.В. Орловского [3,10] подсолнечник отнесен к группе культур с низкой солеустойчивостью. Многочисленные исследования показывают, что подсолнечник следует относить к культурам со средней степенью солеустойчивости. А.А. Шахов в своей монографии по солеустойчивости растений [4] анализируя различия солевыносливости сельскохозяйственных культур по данным опытных станций Средней Азии, отмечает, что подсолнеч-

ник и сахарная свекла в подавляющем большинстве случаев оказались наиболее солеустойчивыми.

По солеустойчивости подсолнечник превосходит многие зерновые культуры. При расчете на 1 га, по данным В.Е. Кабаева (1954 г.), подсолнечник выносит из почвы до 700 кг натрия, 200 кг кальция, 100 кг хлора, 50 кг сульфата, 40 кг магния. Способность потреблять много натрия очень важно для снижения солонцеватости почв.

Следовательно, подсолнечник, если даже в условиях Средней Азии проявляет свойства высокой солеустойчивости, то в условиях более увлажненной Западной Сибири, где солеустойчивость сельскохозяйственных культур несколько выше, подсолнечник - перспективная сельскохозяйственная культура для выращивания на территориях с засоленным и солонцеватым эколого-мелиоративным потенциалом почвенного покрова.

Люцерна, как правило, выполняет особую роль в мелиоративный период освоения засоленных и солонцеватых почв, так как выдерживает засоление почвы до 0,3-0,5%, осолонцеванность до 15% содержания натрия в ППК, способствует улучшению физических свойств почвы, её структурности, обладает мощной корневой системой, рыхлит почву на глубину более 3 м, снижает инфильтрацию поливной воды в глубь почвогрунтов, быстро повышает плодородие почвы [Кружилин, 1977 г.].

При средней солонцеватости у люцерны повышенная чувствительность к засоленным почвам, особенно в первый год её выращивания. Особенно вредным для неё является хлоридное засоление. Солеустойчивость у люцерны повышается с возрастом не только вегетативной части, но и семян.

Разнокачественность засоления (типы почвенного засоления) имеет существенное значение в солеустойчивости растений; однако считать это обстоятельство решающим, а главное, будто бы не дающим основания к созданию общей теории солеустойчивости нельзя. Хлоридный, сульфитный и любой другой тип засоления в результате длительного эволюционного влияния создает у растений в той или иной степени «солевой эффект» (лучший рост и нормальное развитие галофитов только при наличии в субстрате потребного растению количество солей). Это важное положение современной теории галофитизма и солеустойчивости; недооценивать его – значит видеть глубоко преобразующего влияния почвенного засоления на растительный организм, не видеть биологической основы солеустойчивости растений [4].

Литература:

1. Устинов М.Т., Глистин М.В., Казанцев В.А., Магаева Л.А. Адаптивно-ландшафтная мелиорация Барабы. // Мелиорация и водное хозяйство – 2005 - № 6 – с. - 46-49.
2. Строганов Б.П. Метаболизм растений в условиях засоления (XXXIII Тимирязевское чтение) Изд-во «Наука» М.: 1973, 51 стр.
3. Орловский Н.В. Допустимые, вредные и токсичные концентрации солей в почвах Барабы // Тр. Новосибирского СХИ, вып.8. Новосибирск, 1951. – с. 3-31
4. Шахов А.А. Солеустойчивость растений. Изд-во АН СССР, М. – 1956

5. Кук Дж.У. Регулирование плодородия почвы. Пер. с англ. и предисл. к.с. – х.н. Э.И. Шконде. – М: Колос. – 1970
6. Блэк К.А. Растения и почва. Пер. с англ. к.с.-х.н. Э.И. Шконде.-М: Колос.-1973
7. Бреслер Э., Макнил Б.Л., Картер Д.А. Солончаки и солонцы. Пер. с англ., Л: Турометео-издат.-1987
8. Орловский Н.В. Исследования почв Сибири и Казахстана.-Новосибирск: Наука.-1979, 207 с.
9. Орловский Материалы по генезису, режиму и сельскохозяйственному освоению почв Центральной Барабы \\\ Тр. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева.-1955.-т.11. – с. 226-409.
10. Орловский Н.В. О солеустойчивости овощных культур и сахарной свеклы на засоленных гривных землях Барабы – Вкл.: За сельскохозяйственное освоение Барабы. Выпуск I, Новосибирск, 1946- с.-160-168.

УДК 631.6

УПРАВЛЕНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫМ РЕЖИМОМ В СТЕПНОЙ И СУХОСТЕПНОЙ ЗОНАХ СТРАНЫ

И.П. Кружилин, В.Ф. Мамин, А.Г. Болотин, А.Л. Казакова, М.К. Тихонова
ГНУ ВНИИОЗ, Тверь, Россия

Степная и сухостепная зоны расположены к югу от лесостепной. Северная граница этих зон прослеживается по линии городов: Валуйки - Новохоперск - Борисоглебск - Вольск - Сызрань - Самара - Бугуруслан - Уфа, далее огибая Уральские горы, продолжаясь в Сибири по линии Троицк - Омск - юго-западнее от Новосибирска - Барнаул - Бийск и уходит на Горно-Алтайск. К востоку от реки Обь данные зоны образуют крупные разрозненные массивы, а по Забайкалью - более мелкие.

В почвенном покрове степной и сухостепной зон преобладают черноземы обыкновенный, южный и предкавказский, а также темно-каштановые и каштановые почвы. В Европейской части России обыкновенный чернозем, южный чернозем и каштановые почвы расположены полосами, последовательно сменяющимися друг друга по мере продвижения с северо-запада на юго-восток, т.е. по мере увеличения сухости климата.

Черноземы и почвы каштанового типа, которые в совокупности занимают большую часть площади зоны, иногда бывают засоленными или солонцеватыми, причем выраженность этих явлений усиливается, а площадь распространения засоленных почв и солонцов увеличивается от северной границы к южной. В Западно-Сибирской низменности, где грунтовые воды нередко засолены, при гривистом рельефе вершины грив заняты лугово-черноземными почвами, а склоны и депрессии между ними - солонцами и луговыми засоленными почвами.

Климат в целом характеризуется как умеренно-теплый, сухой, континентальный. Средняя годовая температура воздуха в европейской части не превышает 5 °С, часто достигая 7 - 8 °С, а в некоторых районах и 9 -10 °С, в азиатской части она уменьшается, достигая 0 °С и даже ниже (Забайкалье).

Годовое количество осадков в европейской части степной черноземной зоны составляет в среднем - 400 - 500, а в Сибири - 300 - 350 мм. В сухостепной зоне количество атмосферных осадков уменьшается до 250 - 350 мм.

В Российской Федерации из 208 млн. га сельскохозяйственных угодий более 40 млн. га представлены засоленными и осолонцованными почвами.

Площадь засоленных почв на орошаемых землях России (4553,4 тыс. га) по данным мелиоративного кадастра на 01.01.04 г. составляла 719, солонцовых – 410 тыс. га. Причем, площадь орошаемых земель, оцениваемых по почвенно-мелиоративному состоянию как неудовлетворительные, за последние 3 года (2001...04 гг.) увеличилась с 701 до 752 тыс. га. /4/.

Перечень мероприятий по мелиорации орошаемых солонцов в степной и сухостепной зонах с учетом почвенно-мелиоративного состояния орошаемых земель приводится в таблице 1. Они рассчитаны на удаление легкорастворимых солей из активной зоны аэрации и глубокого их консервирования. При этом следует иметь в виду, что повышение бонитета засоленных солонцов не ограничивается только их опреснением, а предопределяется проведением других мелиоративных мероприятий.

Разнообразие солонцовых и засоленных почв при выборе метода их мелиорации обуславливает необходимость учета следующих основных требований:

1. Соблюдение экологически безопасного функционирования системы почва - вода - растение.

2. Регулирование пределов химического состава почвенных растворов и ППК орошаемых почв, которые определяются по физико-химическим показателям (табл. 2). В засоленных и солонцовых почвах, содержащих повышенное количество легкорастворимых солей и обменного натрия возможны два варианта эволюционного развития: а) без формирования токсичной щелочности почвенных растворов, б) с формированием или увеличением токсичной щелочности почвенных растворов. В последнем случае усиливается или развивается осолонцевание почв.

3. Поддержание режима орошения – увлажнительного, непромывного, периодически промывного.

4. Увеличение оросительной нормы должно соответствовать коэффициентам увлажнения (K_u). Для степной зоны при $K_u = 0,44...0,77$, оросительная норма увеличивается на 10 %, для сухостепной зоны каштановых почв при $K_u = 0,33...0,44$ - на 10...15 % и светло-каштановых на 20 % /5/.

5. Обязательным условием для проведения рассолительных мероприятий является требуемое ирригационное качество воды, не вызывающее вторичного засоления и осолонцевания. Оно оценивается по показателю «выверенного» параметра натриевого адсорбционного отношения – SAR^* . При SAR^* меньше 6 осолонцевание и засоление не происходит; при $SAR^* = 6...9$ есть опасность накопления солей и при SAR^* больше 9 возможно осолонцевание почв /5/.

1	2	3	4	5	6	7
	Глубина залегания водо-растворимых солей 0...0,5 м	25...50	-	Глубокое рыхление на 0,5...0,8 м; посев солеустойчивых культур; режим орошения – тот же	Глубокое рыхление на 0,5...0,8 м; посев солеустойчивых культур; режим орошения – тот же	
7.	Слабозасоленные	>50	-		Мелиоративная вспашка на 0,4...0,5 м; или глубокое рыхление на 0,5...0,8 м; внесение химмелиорантов на всю площадь (10...20 т/га); мелиоративный севооборот; режим орошения – промывной: - m + 15 % m + 20 %, при НПВ – 80 % НВ	
8.	Среднезасоленные	нет или < 10		Глубокое рыхление на 0,5...0,8 м; посев солеустойчивых культур; режим орошения – промывной – m + 10 % при НПВ – 75...80 % НВ	Глубокое рыхление на 0,5...0,8 м; посев солеустойчивых культур; режим орошения – промывной: m + 15 % m + 20 %, при НПВ – 80 % НВ	
9.	-«-	10...25		Мелиоративная вспашка на 0,4...0,5 м; внесение химмелиоранта на пятна солонцов (5...10 т/га); мелиоративный севооборот; режим орошения – промывной - m + 10 % при НПВ – 75...80 % НВ	Мелиоративная вспашка на 0,4...0,5 м; внесение химмелиоранта (6...12 т/га); мелиоративный севооборот; режим орошения – промывной m + 15 % m + 20 %, при НПВ – 80 % НВ	
	Глубина залегания водо-растворимых солей 0...0,5 м	10...25		Глубокое рыхление на 0,5...0,8 м; внесение химмелиоранта (5...10 т/га); посев солеустойчивых культур; режим орошения – тот же	Глубокое рыхление на 0,5...0,8 м; внесение химмелиоранта (6...12 т/га); посев солеустойчивых культур; режим орошения – тот же	
10.	Среднезасоленные	25...50		Мелиоративная вспашка на 0,4...0,5 м; внесение химмелиоранта на пятна солонцов (5...10 т/га); мелиоративный севооборот; режим орошения – промывной - m + 10 % при НПВ – 75...80 % НВ	Мелиоративная вспашка на 0,4...0,5 м; внесение химмелиоранта (10...20 т/га); мелиоративный севооборот; режим орошения – промывной m + 15 % m + 20 %, при НПВ – 80 % НВ	
	Глубина залегания водо-растворимых солей 0...0,5 м	25...50		Глубокое рыхление на 0,5...0,8 м; внесение химмелиоранта в тех же дозах; посев солеустойчивых культур; режим орошения – тот же	Глубокое рыхление на 0,5...0,8 м; внесение химмелиоранта в тех же дозах; посев солеустойчивых культур; режим орошения – тот же	
11.	Среднезасоленные	> 50	-	-	Мелиоративная вспашка на 0,4...0,5 м; внесение химмелиоранта (10...20 т/га); мелиоративный севооборот; режим орошения – промывной: m + 15 % m + 20 %, при НПВ – 80 % НВ	

- нижний порог влажности (НПВ) и наименьшая влагоемкость (НВ)
- ** - оросительная норма (m)
- *** - мелиоративный севооборот с 40 % насыщением полей люцерной на 3/к

Таблица 2 – Пределы регулирования солевого режима почвенных растворов и состава ППК

Емкость катионного обмена, ммоль (экв)/100 г	Соотношение катионов в ммоль (экв.)/л в почвенном растворе		Предельно допустимое содержание обменных катионов в ППК, %		SAR оросительной воды
	Na	Na/Mg	Na	Mg	
30...40	0,1...0,2	0,2...0,3	<1...2	<15	<2
20...30	0,3...0,4	0,5...0,6	2...3	15...20	2...4
10...20	1,2...1,5	1,8...2,0	3...5	20...25	4...6
<10	>1,5...2,0	>2,0...3,0	<5...10	25...30	>6

6. Поддержание уровня грунтовых вод на глубине не менее 3 м от поверхности почвы или наличие искусственного дренажа, своевременная очистка и утилизация дренажно-сбросных вод оросительных систем там, где это необходимо.

7. Исключение из орошения комплексных почв с содержанием солонцов более 25% и отведение под рекреации солонцов сильной степени засоления.

8. Корректный выбор (в зависимости от генетических признаков солонцов) и расчет доз мелиорантов.

9. Соблюдение экологических ограничений при внесении химмелиорантов при выполнении технологических мероприятий.

10. Назначение специальных мелиоративных обработок определяется наличием солонцовых пятен в почвенном покрове и глубиной первого от поверхности наибольшего скопления солей. При отсутствии солонцов или их содержании менее 25 % при всех условиях засоления проводится объемное рыхление на 0,5...0,8 м. При увеличении солонцов до 50 % и более и наличии первого солевого максимума с 0,5-метровой глубины назначается мелиоративная вспашка (обычно трехъярусная вспашка на глубину 0,40...0,45 м). При сильном засолении и обнаружении солевого пояса в слое 0...0,5 м целесообразно провести глубокое объемное рыхление (табл. 1).

11. Обеспечение режима органоминерального питания удобрениями, особенно в верхней части корнеобитаемого слоя.

12. Правильное размещение севооборотов, подбор сельскохозяйственных культур. На трудно мелиорируемых почвах – подбор многолетних трав или галофитов-мелиорантов. Опреснение почвы на глубину заделки семян при посеве с.-х. культур.

13. На склоновых почвах необходимы контурно-ландшафтная организация территорий, почвозащитные севообороты (с короткой ротацией), специфические способы обработки почвы.

14. Подбор технических средств, комбинированных машин и др. для внедрения прогрессивных технологий мелиорации.

Регулирование мелиоративного режима почв средней степени сульфатно-хлоридного засоления путем создания промывного режима, внесения химмелиорантов на фоне различной основной обработки почвы, способствовало по-

вышению плодородия и урожайности зеленой массы кукурузы и суданской травы.

Так, глубокое рыхление почвы по сравнению с обычной отвальной вспашкой увеличивало урожайность суданской травы с 45,9 до 57,9 т/га, а создание промывного режима в этих вариантах, за счет увеличения оптимальной поливной нормы на 20%, повышало урожайность зеленой массы до 57,2 - 76,1 т/га. Максимальная урожайность зеленой массы суданской травы (61,1 - 82,9 т/га) была получена при сочетании приведенных факторов и внесении химмелиоранта.

Данная закономерность по изменению урожайности зеленой массы прослеживается и на посевах кукурузы (табл. 3).

Таблица 3 - Урожайность суданской травы и кукурузы на зеленую массу, т/га.

По водному режиму		Варианты	Суданская трава		Кукуруза на з/м	
			без мелиоранта	с мелиорантом	без мелиоранта	с мелиорантом
70... 75% НВ	m _{ont}	Обычная вспашка на глубину 0,25...0,27 м.	45,9	48,4	41,2	42,7
		Вспашка + щелевание	52,3	59,2	44,1	45,4
		Глубокое рыхление	57,9	65,1	46,7	47,9
	m _{ont} +10 %	Обычная вспашка на глубину 0,25...0,27 м.	51,2	57,3	42,9	43,8
		Вспашка + щелевание	54,9	65,8	46,2	47,3
		Глубокое рыхление	66,7	75,4	48,6	51,7
	m _{ont} +20 %	Обычная вспашка на глубину 0,25...0,27 м.	57,2	61,1	44,8	45,5
		Вспашка + щелевание	63,9	72,2	47,7	48,1
		Глубокое рыхление	76,1	82,9	51,4	53,4

Подщелачивание и осолонцевание при орошении распространены достаточно широко, даже на черноземных почвах. Ярким примером осолонцевания черноземов при поливах водой неблагоприятного состава из степных рек, являются участки, расположенные на Азовской и Миусской ОС Ростовской области и Краснодарского края /2/.

На орошаемых землях России встречается разновидность остаточного натриевых солонцов, сформированных на близко залегающих (около 1 м) кремнеземистых породах (супесях и песках). Мелиорация их долгое время оставалась не изученной. Антипов-Каратаев И.Н. еще в 40-х годах XX века отмечал, что мелиорации малонатриевых солонцов должно уделяться первостепенное значение. В настоящее время для них разработана система мероприятий, базисом которой является комплексный метод /3/. Регламент внесения мелиорантов следующий: навоз (60 т/га) осенью под вспашку (на глубину 0,25...0,27 м), более

чем через 1,5 года – гипс летом под первую культивацию и сернокислое железо половинными дозами (по 3 т/га) в сухом виде осенью того же года под обычную вспашку. Минеральные удобрения вносились с учетом выноса питательных веществ с урожаем в течение 4-х лет.

На каждый фактор метода возлагалось выполнение селективных мелиорирующих функций, представленных на схеме био- и физико-химическими процессами (рис. 1). Роль органоминеральных удобрений под воздействием поливной воды и биоценоза сводилась к обогащению солонцов органическим веществом и элементами питания. Глубокая вспашка и культивации разрыхляли плотный солонцовый горизонт, а также способствовали перемешиванию мелиорантов и удобрений в почве. На окультуривающее действие гипса возлагалась функция снижения щелочности почвенных растворов и обогащения почвенно-поглощающего комплекса кальцием. Мелиорирующее действие сернокислого железа заключается в кислотном гидролизе, идущем с образованием серной кислоты, которая нейтрализует соду, снижает щелочную реакцию среды и вступает в реакцию обмена с карбонатами почв, образуя гипс. В результате этого устраняется карбонатизация внесенного гипса, т.к. гипс в щелочной среде карбонатизируется и слабо участвует в мелиоративных процессах солонцов. Химические реакции, протекающие в почве, создают условия для рассолонцевания. Катионы сернокислого железа (Fe^{3+}) и гипса (Ca^{2+}) способствуют коагуляции коллоидов почв. Больше того, первый является связующим звеном при образовании глино-гумусовых комплексов, что способствует накоплению гумусовых веществ в солонце.

Поливная вода способствует растворению мелиорантов и протеканию сложных мелиоративных процессов в почве. Воздействие каждого фактора в условиях ирригации способствует повышению мелиорирующего эффекта и в результате явления синергизма. Синергизм, проявляющийся при совместном воздействии гипса и сернокислого железа, позволяет:

а) устранить карбонатизацию гипса за счет нейтрализации щелочной среды почвенных растворов;

б) усилить оструктурирующий эффект в результате обогащения почвенно-поглощающего комплекса ценными катионами Ca^{2+} и Fe^{3+} ;

в) вносить их малыми дозами, что способствует охране окружающей среды (содержание Zn в верхнем слое почвы составляло 42, Си –16, Cd – 0,15 и Pb – 8,6 мг/кг, что почти соответствовало содержанию их до мелиорации) и малозатратно.

Высокий агрофон, сложившийся благодаря комплексному методу мелиорации солонцов и хорошему предшественнику эспарцету, способствовал существенному повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

Так, биологическая урожайность кукурузы РОСС 145 на зеленую массу за мелиоративный период увеличилась с 18,5 до 41,9, картофеля Невский в первый после мелиорации год – с 26,9 до 49,6, лука Волжанин во второй год – с 15,1 до 28,7 т/га (табл. 4).

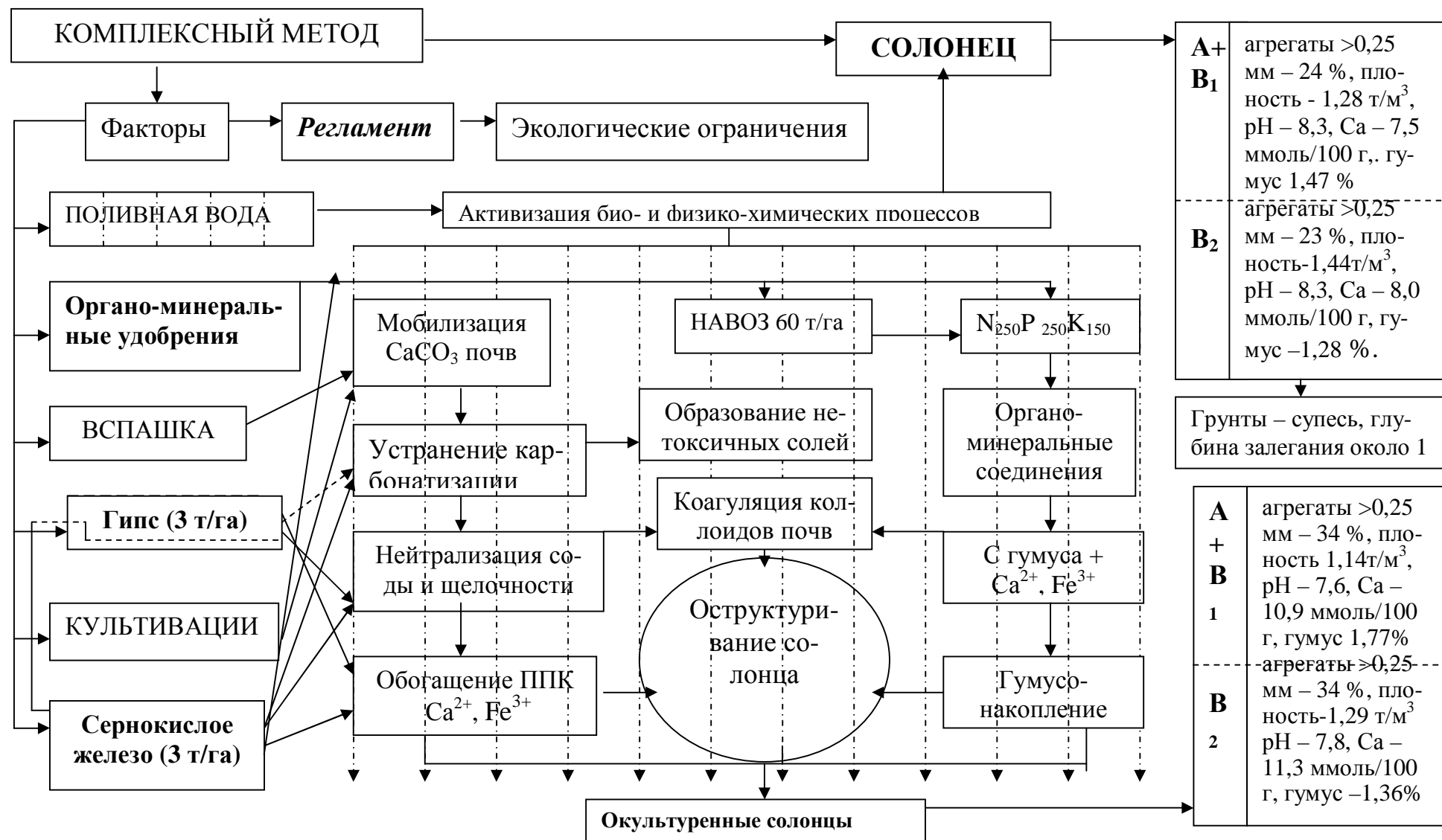


Рисунок 1 - Схема комплексного метода мелиорации солонцов, сформированных на кремнеземистых породах

Таблица 4 – Влияние комплексной мелиорации на урожайность сельскохозяйственных культур, т/га

Вариант опыта	2000 г	2001 г	2002 г	2003 г	2004 г
	Картофель, клубни	Кукуруза на зеленую массу	Картофель, клубни	Лук	Кукуруза на зерно
<i>Солонцовая почва</i>					
Контроль (1) + фон*	20,0	18,5	26,9	15,1	4,0
Фон +6 т/га CaSO ₄		21,8	31,2	17,1	4,1
Фон +60 т/га навоз +6 т/га CaSO ₄	35,0	44,1	43,2	24,8	4,8
Фон +60 т/га навоз +3 т/га CaSO ₄ +3 т/га FeSO ₄		41,9	49,6	28,7	5,5
<i>Светло-каштановая почва</i>					
Контроль (2) + фон*	38,9	49,5	57,1	26,1	7,9

* - вспашка на 0,25...0,27 м + минеральные удобрения

Урожайность кукурузы на зерно (Поволжский 89) в третий постмелиоративный год увеличилась незначительно, с 4,0 до 5,5 т/га, что свидетельствует о снижении мелиоративного эффекта во времени.

В заключение следует отметить, что применение комплексной мелиорации солонцовых почв можно рассматривать как часть комплексной программы борьбы с деградацией почвенного покрова, опустыниванием и засухой, повышения плодородия и продуктивности земель с комплексным почвенным покровом.

Литература

1. Антипов-Каратаев И.Н. О теории и практики мелиорации солонцовых почв в условиях орошения.//Тр. Почв ин-та АН СССР, Т. 24, 1940.
2. Докучаева Л.М., Скуратов Н.С., Сыпко М.Е. Стабилизация кальциевого режима черноземов.// Тез. докл. VIII Всесоюз. Съезда почвовед. Новосибирск, 1989. Кн 5. С. 54.
3. Мелихов В.В., Казакова Л.А. Комплексная мелиорация солонцовых почв //Земледелие, 2005, № 2, С. 8-9.
4. Михалев А.А. Мелиоративный кадастр. Мелиоративное состояние орошаемых и осушенных сельскохозяйственных угодий и техническое состояние оросительных систем по состоянию на 01.01.2004 г. Федеральное агенство по сельскому хозяйству. М., 2004 г., 35 с.
5. Ресурсосберегающие технологии мелиорации засоленных орошаемых земель при дождевании. Рекомендации / Морозова А.С., Болотин А.Г. и др. М.: МСХ, 1992, 40 с.
6. Хитров Н.Б. Генезис, диагностика, свойства и функционирование глинистых набухающих почв Центрального Предкавказья М, 2003, 504 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ СРЕДЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КУЛЬТУР В СИСТЕМАХ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСА МЕЛИОРАЦИЙ

В.Н. Зинковский, Т.С.Зинковская

ВНИИМЗ, Тверь, Россия

Комплексные мелиорации занимают одно из ведущих мест в адаптивно-ландшафтных системах земледелия при разработке оперативных (гибких) технологий управления продуктивностью возделываемых культур, основанных на регулировании основных почвенных режимов (водно-воздушного, пищевого, кислотного, теплового).

Технология оперативного управления агробиоценозами на мелиорируемых землях базируется на дифференцированном применении экологически обоснованных агромелиоративных приёмов, способных в процессе возделывания сельскохозяйственных культур обеспечить достаточно эффективное приближение к оптимуму параметров среды произрастания растений.

Основными видами мелиораций, используемых в целях оптимизации условий среды произрастания возделываемых культур, являются:

- водные (управление водным и воздушным режимами почв);
- земельные (регулирование условий питания растений, структурности и кислотности почв и улучшение степени пригодности земель для сельскохозяйственного использования);
- тепловые (регулирование теплового режима почв и растений).

Разработка комплексов мелиоративных мероприятий для оптимизации условий произрастания культурных растений на сельскохозяйственных полях конкретных хозяйств проводится на микроуровнях агроландшафтного районирования территорий, где нижним таксоном принимается условный выдел "агромикрорландшафт" (АМЛ), представляющий собой территориальный микрокомплекс, энергетические и геохимические параметры имеют однотипный характер.

По Карманову И.И., Булгакову Д.С., при большой пестроте почвенного покрова (несколько разных АМЛ на одном поле) используются градации агрономической совместимости, определяющие три основных типа структур почвенного покрова:

а) агрономически однородные (в составе одного поля, с одинаковыми комплексами и сроками проведения агротехнических и мелиоративных мероприятий);

б) агрономически неоднородные (в составе одного поля, небольшие различия в комплексах и сроках проведения агротехнических и мелиоративных мероприятий);

в) агрономически несовместимые участки по структуре почвенного покрова (требуют различных агротехнических и мелиоративных мероприятий, не

допускают проведения основных полевых работ в одинаковые сроки и их не следует включать в состав одного поля).

Разрабатываемый для каждого поля (севооборота, хозяйства) состав комплекса рекомендуемых мелиоративных мероприятий должен рассчитываться на максимально возможное (в производственных условиях) удовлетворение потребностей возделываемых культур в условиях среды. Величина положительного эффекта при оптимизации условий произрастания культурных растений определяется объёмом и качеством выполнения рекомендуемых мелиоративных мероприятий.

Одним из современных направлений оперативного управления продуктивностью агробиоценозов на мелиорируемых землях является создание автоматизированных гидромелиоративных систем (ГМС) многоцелевого использования, разработкой которых на протяжении многих лет детально и плодотворно занимался коллектив учёных ВНИИГиМ под руководством академика Б.Б.Шумакова.

Не вдаваясь в подробности этих исследований, следует отметить, что разработки в основном сориентированы на зону орошаемого земледелия, где на больших площадях технически совершенных оросительных систем применяется современная дождевальная техника, которой отдаётся преимущество в отношении многоцелевого использования. Именно при дождевании возможно нормированное выполнение таких операций, как внесение удобрений, химических мелиорантов, средств защиты растений, биопрепаратов, стимуляторов роста, дефолиантов и др. Дождевание, помимо своей основной оросительной функции, успешно применяется для борьбы с атмосферной засухой (мелкодисперсное дождевание), для устранения губительного действия заморозков.

Для природных условий гумидной зоны ГМС нового поколения прежде всего рассматриваются, как системы двустороннего регулирования водного режима в двух вариантах:

а) осушительно-увлажнительная – для малоуклонных площадей, когда закрытая дренажная сеть выполняет двойные функции: сброса и обратной подачи воды в дрены при поднятии её уровня в водоприёмнике;

б) осушительно-оросительная – более перспективная, когда на дренажную сеть накладывается система дождевания.

Но, поскольку в гумидной зоне по экономическим соображениям строительство крупных оросительных и осушительно-оросительных систем проблематично, для комплексного мелиоративного регулирования условий возделывания сельскохозяйственных культур необходимо применять целый ряд специальных (внесистемных) агромелиоративных приёмов, не входящих в функции гидромелиоративных систем.

Не случайно в последних разработках (Губер К.В., 2000), посвящённых созданию внутрихозяйственных дождевальных систем многоцелевого применения, для выполнения технологических процессов привлекается такое подразделение, как блок специальных обработок почвы

Это подразделение имеет сугубо мелиоративную направленность и его соответствующая переориентация на природные особенности гумидной зоны

позволяет рассматривать проблему комплексного мелиоративного регулирования условий произрастания культурных растений в соответствии с требованиями адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

В последнем случае данное подразделение должно включать три блока агромелиоративных мероприятий:

- приёмы управления агробиоценозами по блоку водных мелиораций;
- приёмы управления агробиоценозами по блоку земельных мелиораций;
- приёмы управления агробиоценозами по блоку тепловых мелиораций.

Блок водных мелиораций (рис. 1) решает задачи оптимизации водного и воздушного режимов почв, исходя из требования создания в корнеобитаемом слое нормального соотношения между содержанием продуктивной влаги и воздуха, которого в порах пахотного горизонта должно быть не менее 18 - 20% от их объёма. Это соотношение регулируется направленным (в сторону оптимизации) изменением показателей таких водно-физических свойств почв, как плотность и порозность аэрации.

Нечернозёмная зона характеризуется практически повсеместным преобладанием количества выпадающих атмосферных осадков над испаряемостью и в составе водных мелиораций приоритет принадлежит осушению. В то же время на территории зоны часты проявления засушливых периодов, что диктует необходимость строительства мелиоративных систем с двусторонним регулированием водного режима.

При отсутствии гидромелиоративных систем для оперативного регулирования водно-воздушного режима на периодически переувлажняемых почвах зоны рекомендуется применять специальные агромелиоративные приёмы, направленные на ускорение поверхностного стока и повышение инфильтрации почв (рис. 1). Эти приёмы позволяют целенаправленно регулировать следующие показатели:

Объёмная масса почвы	Водопроницаемость почвы
Порозность общая	Порозность аэрации
Влажность почвы	Влагоёмкость почвы
Предельная полевая влагоёмкость	Запасы продуктивной влаги
Нормы осушения	Нормы орошения
Сроки проведения весенне-полевых работ	Продолжительность затопления посевов

Основные требования к агромелиоративным мероприятиям, выполняемым по **блоку земельных мелиораций** (рис. 2), направлены на оптимизацию пищевого и кислотного режимов почв. В этом же блоке предусматривается применение почвозащитных (на эрозионно опасных участках) и оперативных культуртехнических мероприятий (локальное удаление кустарника, систематическая уборка камней).

По гумусу и основным элементам питания комплекс применяемых агротехнических и агромелиоративных мероприятий в минимуме должен обеспечивать бездефицитный баланс в почве органического вещества и компенсацию выноса с урожаем доступных соединений азота, фосфора и калия.

Структурная схема водных мелиораций

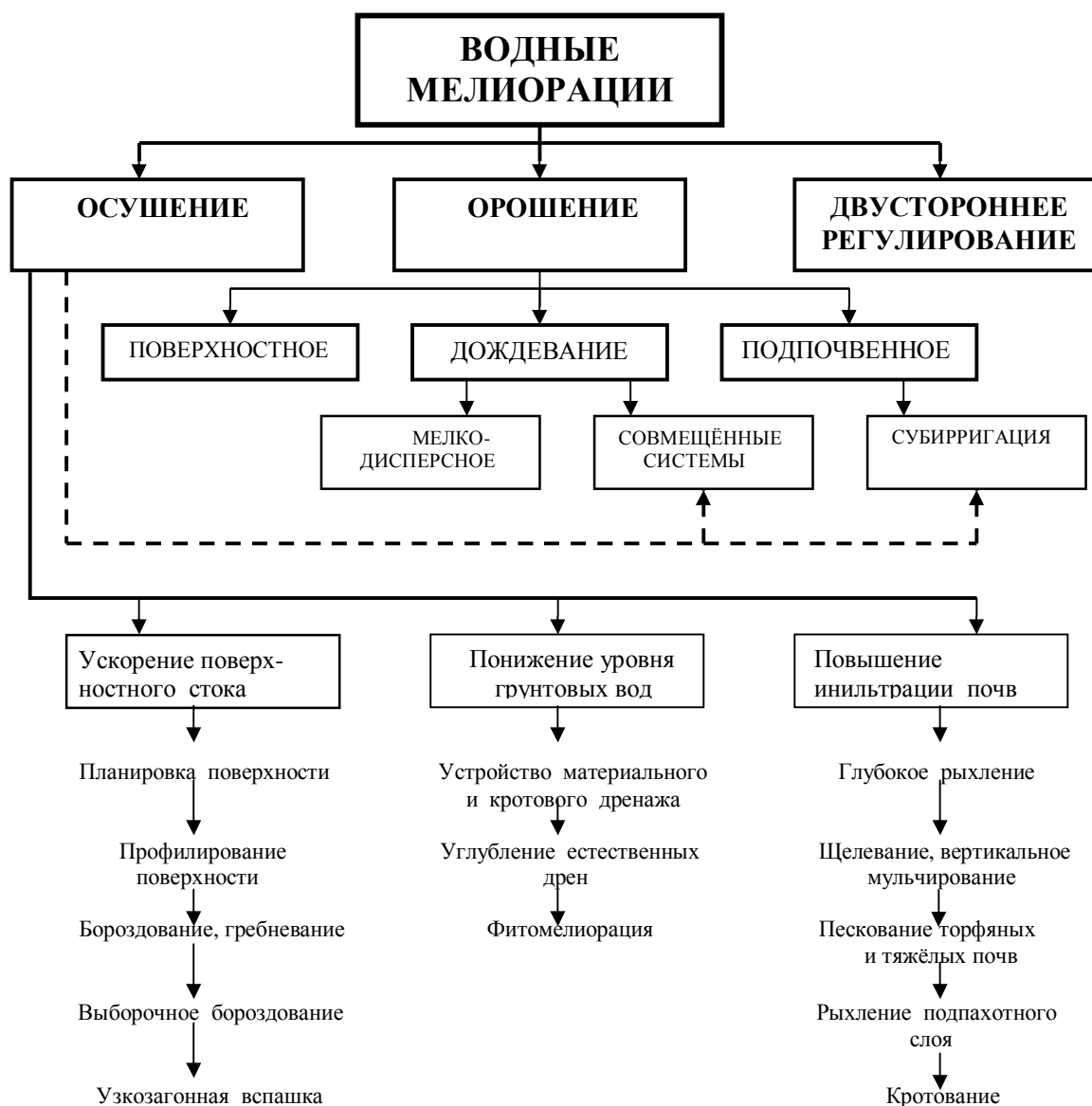


Рисунок 1 – Водные мелиорации

Реакция почвенного раствора (рН) регулируется в соответствии с биологическими требованиями возделываемых культур в зависимости от типа севооборота и гранулометрического состава почвы. Так, в севооборотах со льном и картофелем интервалы кислотности могут быть ниже, чем в зерновых и кормовых; на лёгких почвах растения лучше выдерживают низкую кислотность.

При существующей зависимости урожайности культур от мощности гумусового горизонта минеральных почв, на бедных почвах предусматривается увеличение мощности этого горизонта путем постепенного припахивания и окультуривания подпахотного слоя с внесением высоких доз органических удобрений, извести и др.

Структурная схема земельных мелиораций

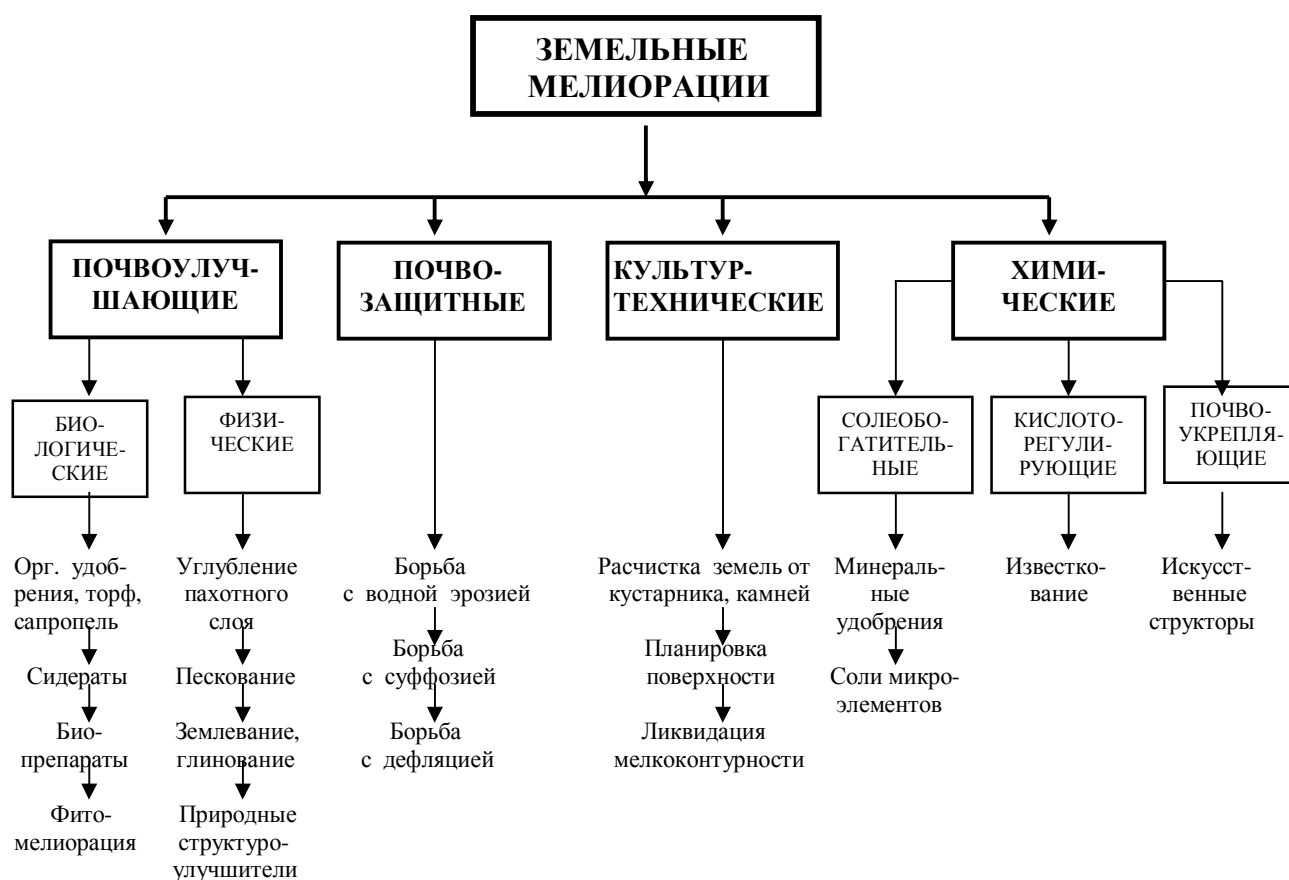


Рисунок 2 – Земельные мелиорации

Агрономически ценная структура почвы (и непосредственно зависящие от нее плотность и порозность), определяется наличием наиболее ценных для функционирования корневых систем водопрочных агрегатов (размером от 0,25 до 10 мм), для создания которых применяются различные почвоулучшающие приёмы.

Помимо оптимизации пищевого режима почв в системах земледелия большое значение имеет улучшение состояния пригодности земель для сельскохозяйственного использования, в связи с чем проводятся оперативные культуртехнические мероприятия по расчистке используемых площадей от камней, кустарника, кочек и ликвидации мелкоконтурности полей.

В целях сохранения и повышения устойчивости агроландшафта, в системах земледелия экологически и экономически необходимы почвозащитные мелиорации, ограничивающие интенсивность эрозионных и суффозионных процессов на сельскохозяйственных полях.

Таким образом, в структуре блока земельных мелиораций необходимо предусматривать почвозащитные, культуртехнические, почвоулучшающие и химические виды мелиораций с соответствующими агро-мелиоративными и агротехническими приёмами (рис. 2), обеспечивающими регулирование следующих почвенных и других показателей в системах земледелия:

Содержание гумуса
 Соотношение $C_{\text{гум}}:C_{\text{фул}}$
 Содержание NO_3 и NH_4
 Содержание P_2O_5
 Содержание K_2O
 Содержание CaCO_3
 Содержание микроэлементов

Реакция почвенного раствора
 Состояние ППК
 Состояние почвенной структуры
 Плотность почвы
 Мощность $A_{\text{пах}}$
 Микробиологическая активность
 Показатели качества продукции

Задачи регулирования теплового режима в системах земледелия Нечернозёмной зоны в определённой мере можно решать и использованием ряда приёмов, относящихся к блоку тепловых мелиораций (Рис. 3).

Структурная схема тепловых мелиораций

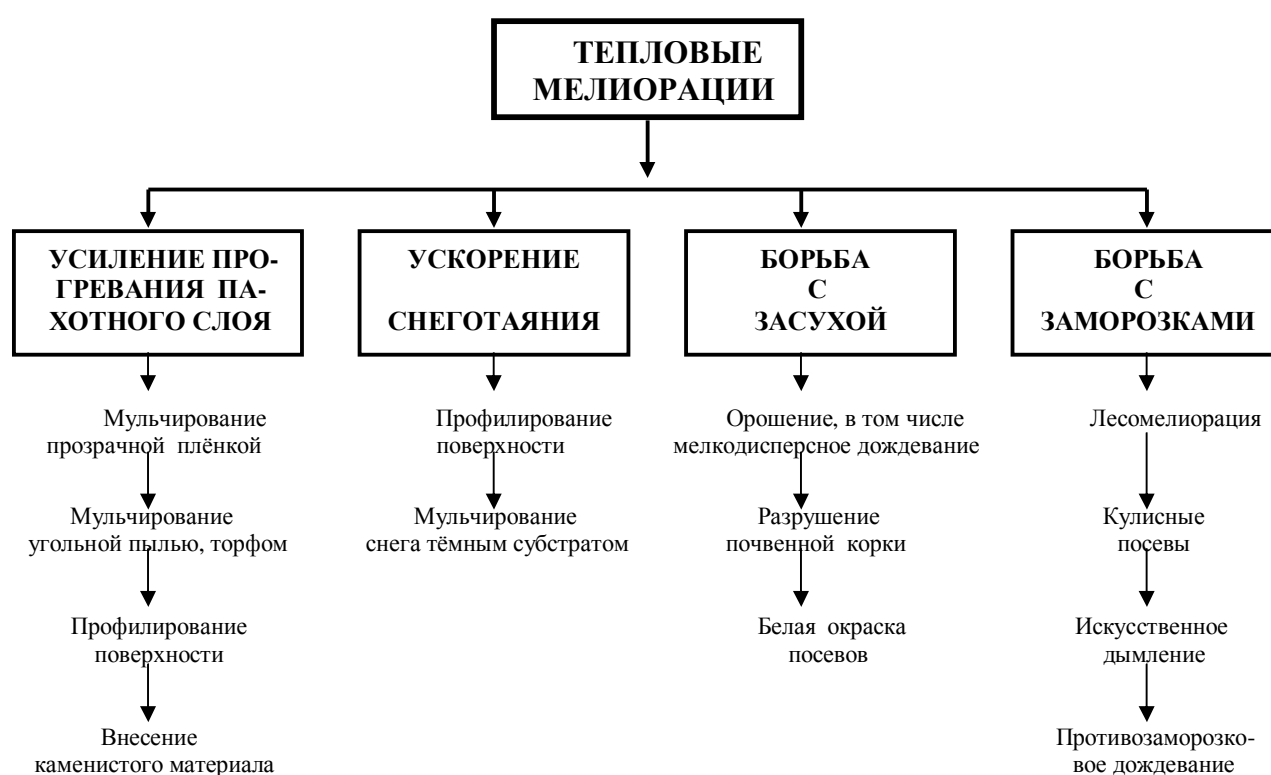


Рисунок 3 – Тепловые мелиорации

Обеспеченность посевов теплом в Нечернозёмной зоне является лимитирующим фактором при выращивании многих культур и сортов, однако реальные возможности регулирования теплового режима на больших площадях ограничены. Тем не менее, специальными приёмами обеспечивается возможно раннее проведение сельскохозяйственных работ в весенний период, увеличение притока тепла в почву в период вегетации; создаются условия для нормальной перезимовки озимых культур, уменьшается опасность повреждения растений заморозками и засухой.

Подбор возделываемых культур и их сортов должен проводиться в строгом соответствии с теплообеспеченностью (среднегодовой суммой активных температур) каждого региона. При этом должен планироваться определенный запас активных температур на вероятные отклонения от среднегодовых сумм.

При размещении культур на полях необходимо учитывать экспозицию склонов, особенности рельефа и механического состава почв. К примеру, на южных склонах сумма положительных температур на 50-80°C больше, чем на ровном месте, на северных склонах закономерность обратная; на верхних участках склонов созревание культур наступает на 3-8 дней раньше. На песчаных и супесчаных почвах сумма температур > 10°C на 200-350° больше, а на тяжелых на 100-200° меньше по сравнению со среднесуглинистыми почвами.

При регулировании теплового режима учитывается эффективность различных приемов мелиорации микроклимата посевов и почвы:

- кулисные посевы способствуют снегозадержанию зимой и повышению температуры на 2-3°C;
- грядование и гребневание посевов повышают температуру на 2-3°;
- прикатывание почвы повышает температуру в слое 0-5 см на 1-5°;
- мульчирование угольной пылью повышает температуру на 3-4°C одновременным увеличением содержания нитратов, фосфора и кальция;
- мульчирование почвы светопрозрачной пленкой повышает температуру в слое до 10 см на 8-10°;
- дымление и перемешивание приземного слоя воздуха повышает его температуру на 1-4°;
- противозаморозковое дождевание эффективно даже при сильных заморозках с понижением температуры воздуха до - 5-7°C.

Одним из наиболее мощных регуляторов тепла на переувлажненных почвах является осушение, при котором, за счет уменьшения затрат тепла на испарение излишков влаги, температура осушенных территорий повышается в среднем на 3-5° по сравнению с прилегающими массивами.

Таким образом, блок тепловых мелиораций для управления тепловым режимом почв и посевов в системах земледелия в основном содержит четыре вида агрометеорологических мероприятий: ускорение снеготаяния, усиление прогревания пахотного слоя, борьбу с заморозками и борьбу с засухой.

Представленные на рис. 3 приёмы блока тепловых мелиораций в современных системах земледелия обеспечивают регулирование таких показателей, как:

Сроки схода снежного покрова	Влажность почвы
Сроки сева	Температура листового аппарата
Температура почвы при посеве	Влажность воздуха в посевах
Температура почвы во время вегетации	Температура почвы под снегом (для озимых)
Продолжительность вегетационного периода	Высота снежного покрова

Часть приёмов блока тепловых мелиораций присутствует и в составе блока водных мелиораций (дождевание, профилирование поверхности, бороздование, грядование), выполняет двойную мелиоративную функцию - регулирование как водно-воздушного, так и теплового режимов почвы.

В данной статье приведены агромелиоративные и другие приёмы, обычно отсутствующие в традиционных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. Система агромелиоративных мероприятий разрабатывается для каждого поля на весь период ротации севооборота согласно регулярно собираемой информации по мелиоративному состоянию каждого поля

В каждом севообороте при чередовании культур следует предусматривать «технологические окна», располагающие достаточным запасом времени для качественного проведения агромелиоративных приёмов и частичного ремонта дренажных систем. Для этих работ используются чистые (в период освоения осушаемых земель) и занятые однолетними травами пары (мелиоративно-паровые ремонтные поля), также поля, засеваемые культурами с коротким сроком вегетации (рапс, сурепица). Ещё используются поля с многолетними травами второго и последующих лет пользования после первого укоса и поля, идущие под летний посев многолетних трав. В качестве примера приводим один из типовых севооборотов с выделением полей, располагающих «технологическими окнами»:

- 1. Пар занятый (однолетние травы)**
2. Озимые зерновые + многолетние травы
3. Многолетние травы
- 4. Многолетние травы (один укос)**
5. Лён
6. Озимые зерновые
7. Яровые зерновые

В данном севообороте для таких приёмов, как глубокое рыхление, известкование, фосфоритование, внесение высоких доз органических удобрений достаточно их однократного проведения за ротацию; эксплуатационную планировку, особенно в качестве предпосевного выравнивания поверхности поля, следует проводить по мере появления микронеровностей, ухудшающих качество сева, создающих пестроту увлажнения поверхности полей и др. Также по мере необходимости проводится сбор камней, удаление кустарника, частичная засыпка «блюдец». Такие мероприятия, как узкозагонная вспашка, выборочное бороздование, гребневание, грядование легко вписываются в обычные агротехнические циклы работ на полях и, по мере надобности, могут применяться на всех полях севооборотов.

Правильно подобранные для конкретных природных условий комплексы агромелиоративных приёмов в разные по обеспеченности осадками и теплом годы дают возможность максимального приближения условий среды произрастания к биологическому оптимуму возделываемых культур и при всём разнообразии агроландшафтных особенностей сельскохозяйственных полей и угодий Нечернозёмной зоны позволят хозяйствам выходить на планируемые уровни получения продукции земледелия.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ

Л.В.Кирейчева, О.Б.Хохлова, В.М.Яшин

ГНУ ВНИИГиМ, Москва, Россия

Повышение качества жизни - не только обеспечение населения необходимым количеством качественных продуктов питания и агросырья, а также сохранение и восстановление почвенного плодородия как национального богатства и стратегического ресурса страны. Для расширенного воспроизводства почвенного плодородия необходима целая система мероприятий, включающая внесение в почву органических и минеральных удобрений, применение микробных препаратов для ускорения переработки органических отходов и стимулирования процессов гумусообразования, агротехнические и мелиоративные приемы и т.д.

Во ВНИИГиМ разработана новая технология получения экологически безопасных, эффективных органо-минеральных удобрительно-мелиорирующих смесей на базе пресноводных сапропелей (УМС), адаптированных для конкретных почвенных условий при производстве экологически чистой продукции улучшенного качества. Удобрительно-мелиорирующие смеси обеспечивают формирование в почве коллоидной структуры, увеличение ППК и ЕКО, повышение сорбционных свойств, активизацию почвенной микрофлоры, а самое главное, стимулирование процессов гумусообразования. Удобрительно-мелиорирующие смеси созданы на базе карбонатного сапропеля, обработаны микробными препаратами, которые активизируют почвенную микрофлору, ускоряют процессы гумификации, обеспечивают расширенное воспроизводство почвенного плодородия и обезвреживание многих солей тяжелых металлов, особенно с переменной валентностью/2/.

Технология приготовления смеси включает следующие операции:

- подготовка сапропеля, как матрицы удобрительно-мелиорирующей смеси. Свежедобытый сапропель промораживается, затем высушивается до 10-15% весовой влажности и гранулируется, оптимальный размер гранул 1-2мм;
- специальная обработка подготовленного сапропеля для высвобождения потенциальной энергии. Сапропель и один из источников доступной органики (например, торф, древесные опилки или осадки сточных вод) в необходимом соотношении (3:1) помещаются в бурт, где производится механическое перемешивание смеси. Параллельно готовится раствор ЭМ-культуры из расчета 1 литр матричного раствора на 50 л воды, оптимальная температура раствора 24-25°C. Смесь обрабатывается раствором ЭМ-культуры из расчета 1 литр матричного раствора на 1 тонну смеси. Оптимальная влажность смеси после обработки раствором должна составлять не менее 60%, температура -22-24°C;
- процесс созревания. В течение одной-двух недель смесь созревает в бурте и вновь перемешивается. Затем на две недели смесь вновь оставляется

для компостирования. Температура смеси весь период созревания не должна превышать 30°C. При сильном разогреве смесь уплотняют.

Свежеприготовленная УМС имеет гомогенную структуру и темно-коричневую окраску. Она проявляет новые качества, не характерные для отдельных ингредиентов смеси: формирует коллоидную структуру почвы; увеличивает ППК и ЕКО; создает устойчивую буферную систему; повышает сорбционные свойства и активизирует почвенную микрофлору. Все это обеспечивает быстрое высвобождение энергии из сапропеля и стимулирует процесс гумусообразования в почве. УМС относится к органо-минеральным удобрениям длительного действия.

Для оценки эффективности использования удобрительно-мелиорирующих смесей совместно с к.с.-х.н. А.В.Ильинским /1/ были проведены специальные деляночные полевые опыты в 4-х кратной повторности на выщелоченных черноземах в Малинищах Рязанской обл. Под однолетние травы (викоовсяную смесь) осенью 2002 г. внесли чистый сапропель и УМС из расчета 10 т/га. На контроле вносили расчетные дозы минеральных удобрений. За первый год произошло резкое улучшение агрохимических свойств почв и увеличение урожайности более чем на 30% (табл.1).

Таблица 1 - Агрохимические свойства выщелоченного чернозема при различных вариантах опыта

Вариант опыта	pH	Hr	S	P2O5	K2O	Урожайность зеленой массы, т/га
Контроль	5,1	7,41	30,0	12,5	12,2	41,0
Сапропель	5,7	2,11	42,0	11,2	11,3	53,0
УМС	5,7	2,31	39,8	13,1	13,1	55,0
РСР,05	0,21	0,35	2,0	1,1	1,1	2,0

Примечание: Hr – гидролитическая кислотность, моль/100 г; S – сумма поглощенных оснований, моль/100 г.

Последствие УМС и сапропеля сохранялось в течение 3-х лет (рис. 1), что подтверждает длительность действия и возможность внесения указанных органо-минеральных веществ один раз в 3 года.

В 2005г. на выработанных торфяниках Рязанской области на участке Тинки-2 совместно с сотрудниками Мещерского филиала (Ю.А.Томин, К.Н.Евсенкин) был заложен деляночный опыт. Высокое содержание песка в почве активизировало процессы минерализации органического вещества и привело к снижению энергетического потенциала исследуемой почвы и деградации. Характеристика почвы участка представлена в таблице 2.

Опыт закладывался в 3-х кратной повторности. Площадь делянки составляла 127,5м². Варианты опыта ВНИИГиМ: удобрительно-мелиорирующая смесь на основе торфа, пресноводного карбонатного сапропеля и культуры почвенных организмов (УМС), вермикомпост вносились из расчета 1кг/м² су-

хого вещества. Минеральные удобрения (опыт МФ) вносили из расчета: N₆₀P₆₀K₆₀, N₉₀P₉₀K₉₀, N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀.

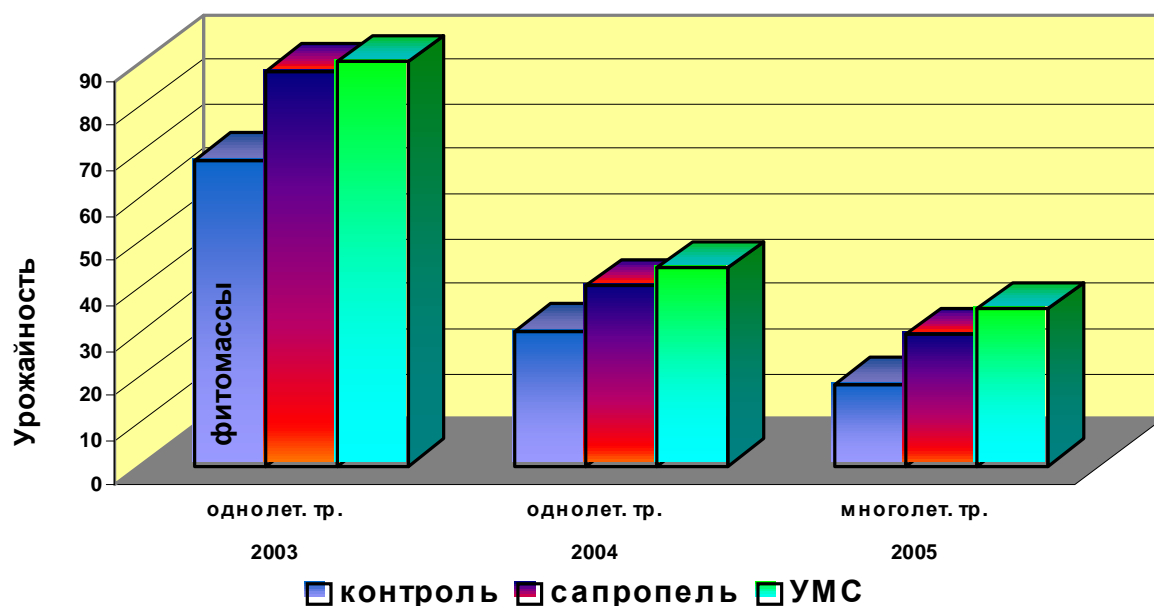


Рисунок 1 - Урожайность фитомассы однолетних и многолетних трав при использовании УМС по сравнению с контролем

Таблица 2 - Агрохимические показатели почвы на участке Тинки-2

Гумус по Тюрину, %	Гидролитическая кислотность по Каппену, Мг/экв на 100г	Сумма поглощенных оснований, Мг/экв на 100г	Степень насыщенности основаниями, %	Азот общ., %	Фосфор подвижный По Кирсанову, мг/100г	Калий подвижный По Кирсанову, мг/100г
5,9	12,1	0,61	47,1	0,365	16,8	18,6

Среднее значение из 3-х повторностей

По методике О.Б.Хохловой [3] был рассчитан биоэнергетический потенциал (БЭП) удобрительно-мелиорирующей смеси и вермикомпоста, который составил соответственно 6,33 и 9,55 МДж/кг. В конце вегетационного периода была определена продуктивность многолетних трав с подсевом ячменя и овса и агрохимические свойства торфяников (табл.3).

Таблица 3 - Влияние органических и минеральных удобрений на содержание гумуса в почве и урожайность фитомассы

Вариант опыта	Гумус, (Сорг., %)	Урожайность фитомассы, т/га
Контроль:		11,5
Весна	7,1	
осень	5,5	
УМС	10,8	24,6
Вермикомпост	12,1	17,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	6,3	14,7
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	4,9	15,7
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	7,9	20,8

Из таблицы 3 видно, что наилучший эффект по урожайности достигнут при внесении в почву удобрительно-мелиорирующей смеси, прибавка урожая составила 114%. При внесении больших доз минеральных удобрений урожайность увеличилась на 81%, прибавка от вермикомпоста составила 50%. Для оценки изменения энергии почвенного гумуса на всех вариантах опыта был рассчитан БЭП почвенного гумуса и фитомассы урожая (табл.4).

Таблица 4. Влияние органических и минеральных удобрений на биоэнергетический потенциал почвенного гумуса и фитомассы на участке Тинки-2, 2005

Варианты опыта	БЭП гумуса, ГДж/га	БЭП фитомассы, ГДж/га
Контроль: весна, осень	1980 1662	0 17,3
УМС	3271	36,9
Вермикомпост	3677	25,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1909	22,1
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1485	23,6
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	2422	28,2

Наибольшее количество энергии, аккумулированной в почвенном гумусе, приходится на варианты с внесением вермикомпоста и УМС, что позволяет сделать вывод о положительном почвообразовательном процессе. При значительных дозах внесения минеральных удобрений N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ снижения гумуса в почве практически не наблюдается. Однако требуется проведение дополнительных исследований, связанных с загрязнением почв биогенными веществами и ТМ.

Таким образом, при решении проблемы повышения плодородия деградированных почв и получения экологически чистой продукции предлагается в сельскохозяйственной практике применять специальные удобрительно-мелиорирующие смеси, обеспечивающие, наряду с прибавкой урожайности, расширенное воспроизводство почвенного плодородия.

Литература

1. Ильинский А.В. Автореферат дис. к.с.-х.н. Очистка и детоксикация оподзоленных и выщелоченных черноземов, загрязненных тяжелыми металлами М.2003 с.25
2. Кирейчева Л.В., Хохлова О.Б. Повышение плодородия почв на основе внесения сапропелей //Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 2005, №5, с.37-40
3. Хохлова О.Б. Восстановление малопродуктивных земель с использованием удобрительно-мелиорирующих смесей.- Мелиорация и окружающая среда, Юбилейный сборник научных трудов ВНИИГиМ М.2004, т. 2.

ТЕХНОЛОГИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АГРОЛАНДШАФТОВ

Ю.С. Пунинский, В.Ю. Пунинский

ГНУ ВНИИГиМ, Москва, Россия

Технология предназначена для предотвращения и ликвидации антропогенного загрязнения агроландшафтов, регулирования режимов комплексной мелиорации, создания благоприятных условий для развития корневой системы растений и почвенной биоты, обеспечения устойчивого сельскохозяйственного производства с получением растениеводческой продукции необходимого количества и качества, восстановления плодородия и улучшения свойств почв.

Биологическая мелиорация – система мероприятий по созданию в почве биологически активного слоя (БАВС) и повышению плодородия почв путем коренного улучшения их водно-физических, агрохимических и биологических свойств на основе управляемых режимов комплексной мелиорации.

Комплекс агробиомелиоративных мероприятий при необходимости включает: известкование; гипсование; фосфоритование; внесение органоминеральных биологически активных удобрительных смесей (ОМБАУС), микроэлементов и сорбентов; предпосевную обработку почвы; залужение или посев культур-освоителей, инокулированных штаммами азотфиксирующих микроорганизмов и обработанных стимуляторами роста растений; орошение в режиме освежительных поливов малыми нормами с аэрозольным доувлажнением, биологические методы борьбы с болезнями и вредителями растений.

Помимо традиционных агротехнических приемов при проведении биомелиорации предварительно разуплотняют почву глубокой обработкой для повышения ее воздухоемкости; при создании БАВС в качестве основного удобрения вносят ОМБАУС; посевной материал обрабатывают стимулятором роста растений – оксидатом гумата торфа; проводят инокуляцию семян штаммами азотфиксирующих микроорганизмов; орошение посевов в режиме освежительных поливов малыми нормами осуществляют в утренние и вечерние часы суток.

Биологически активная удобрительная смесь содержит весь комплекс питательных элементов, необходимых для роста и развития растений. Массовая доля влаги составляет в ОМБАУС не более 65-70%, зольность не более 23%, кислотность рН находится в пределах 5,2-6,8%, содержание в 100 г сухого вещества фосфора P_2O_5 - 0,2-0,4%, K_2O – 0,15-0,25%, биологическая активность на нитратный азот составляет не менее 20 мг в 100 г сухого вещества.

Возможны две технологические схемы применения биологически активных удобрительных смесей – с приготовлением и внесением в почву слоем от 10 до 30 см (в зависимости от целевой функции) сухой смеси или в виде готовых блоков промышленного приготовления. Для создания биологически активного водорегулирующего слоя в песчаных и супесчаных почвах готовится смесь на основе растительных остатков и глины с монтмориллонитовой

добавкой с соотношением соответственно компонентов, об. %: 50:45-48:2-5 (а.с.1555347). При наличии торфа, с целью повышения эффективности биомелиорации и повышения плодородия почвы путем активизации в ней микробиологических процессов, в состав смеси вводят азотфиксирующие микроорганизмы при следующем соотношении компонентов, об. %: торф 50%, глина 18-24, монтмориллонит 6-12, растительные остатки 9,85-9,92, азотфиксирующие микроорганизмы 0,08-0,15 (Патент РФ 1758066). На глинистых и суглинистых почвах для устройства БАВС рекомендуется состав смеси, содержащей 60% микропарниковой торфяной смеси, 30% монтмориллонитовых глин, от 9,85 до 9,92% растительных остатков и от 0,08 до 0,15% азотфиксирующих микроорганизмов и стимуляторов роста растений (Патент РФ 2125583).

Совокупность принципов, методов и форм управления биологическим режимом на базе модульных блоков моделей агробиоценоза, оросительной сети, почвенных процессов и продукционного процесса сельскохозяйственных культур позволяет регулировать уровень продуктивности агробиоценоза в конкретных природных и экономических условиях, создать гибкий технологический комплекс управления, предусматривающий возможность создания сложной системы из практически неограниченного числа автономных модулей, способных решать только одну-две задачи или выполнять ограниченное число функций.

Концептуальный подход к разработке биомелиоративных методов и технологий окультуривания и восстановления плодородия почв, учитывающий применение научно обоснованных севооборотов, взаимосвязь агротехнических и биомелиоративных мероприятий с региональной специализацией сельскохозяйственного производства, получением требуемого объема и качества сельскохозяйственной продукции, уровнем плодородия почвы и стабильностью всей агроэкосистемы можно представить в виде обобщенной морфологической схемы факторов формирования урожая и сохранения экологически безопасной обстановки в регионе, представленной на рисунке 1.

Адаптивный комплекс агробиомероприятий для практической реализации, может быть представлен в виде типового технологического процесса, состоящего из совокупности традиционных агротехнических приемов и методов биомелиорации почв. В качестве примера представлен алгоритм технологического процесса инженерной биомелиорации применительно к перезалужению многолетнего орошаемого пастбища, состоящий из ряда конкретных агробиомелиоративных мероприятий:

- традиционный агротехнический прием дискования травяного покрова, проводится вдоль и поперек поля с помощью борон БПК-3, БДТ-3, БДТ-7;

- традиционное мероприятие – вспашку на глубину пахотного слоя осуществляют через 10-14 дней после дискования плугами ПЛН-4-3,5 или ПЛН-3-3,5;

- для принятия решения о необходимости проведения земельной мелиорации определяются водно-физические свойства почвы и ее агрегатное состояние, устанавливается способ земельной мелиорации – мелиоративная вспашка, глубокое рыхление, кротование, щелевание и др.;

- проведение химической мелиорации (известкование, гипсование) устанавливается на основании химических анализов почвы и солеустойчивости высеваемых травосмесей и реализуется путем внесения химвелиорантов расчетной нормой с помощью машин КСА-3, АРУП-8, РУМ-8 при скорости ветра не превышающей 4-5 м/с;

- традиционный прием – дискование в два-три прохода осуществляют тяжелыми боронами БДТ-7, БДТ-3;

- боронование почвы, проводимое перед внесением минеральных удобрений для сохранения их равномерного распределения в верхнем слое почвы, проводится при влажности верхнего слоя почвы не более 80 % НВ боронами БЗСС-1,0, БЗТС-1;

- выравнивание поверхности почвы выполняется с помощью планировщиков П-2,8, ПА-3, П-4А. Поверхность считается ровной, если на участке длиной 3-4 м нет понижений глубже 4-5 см;

- для восстановления капиллярного поднятия влаги, предупреждения иссушения поверхностного слоя и улучшения водно-воздушного режима почву после разделки пласта прикатывают;

- оценка потребности в минеральных удобрениях определяется на основе химического анализа почвы. Расчеты ведутся под планируемую урожайность с учетом внесения биомелиорантов, позволяющих сократить норму внесения минерального азота в 2-3 раза или вообще его не вносить. Внесение минеральных удобрений осуществляется с помощью машин РУМ-8, РУП-8;

- практическим методом оценки потребности в биомелиорации является оценка возможности запахивания растительных остатков, внесения органоминеральных биологически активных удобрительных смесей ОМБАУС, устройства биологически активной водорегулирующей прослойки в почве БАВС; применения азотфиксирующих штаммов микроорганизмов и стимуляторов роста растений; инокуляции посевного материала азотфиксаторами и обработки его стимуляторами роста растений на машине ПС-10 без прямого солнечного воздействия;

- решение на внесение микроэлементов (цинк, бор, молибден, кобальт) принимается на основании оценки потребности в них растений, повышения биологической активности почвенных микроорганизмов и улучшения качества кормов;

- посев подобранных составов травосмесей с учетом типа почвы, режима естественного и искусственного увлажнения, интенсивности применения минеральных удобрений, осуществляется сеялками СЗТ-3,6, СЛГ-3,6, СЗЛ=3,6 в благоприятный срок посева, определяемый спелостью почвы.

- определяют необходимость прикатывания почвы для закрепления ее поверхности после сева и улучшения условий последующего развития всходов;

- необходимость водной мелиорации почвы определяет способ орошения для проведения послепосевного и вегетационных поливов;

- мероприятия по уборке урожая назначают в зависимости от целевой функции использования травы (на зеленую массу, сено или стравливание) в за-

висимости от года использования окультуриваемого участка и производственных потребностей в кормах.

- управление режимами инженерной биомелиорации в процессе ведения агроэкологического мониторинга проводится на основании поступающей в информационно-управляющую систему контрольной информации о влажности почвы и необходимости в назначении поливов; состоянии питательного режима почвы; нитрогеназной активности корней растений и биологической активности почвенной биоты, при малых величинах которых возможно повторное внесение биопрепаратов для активизации жизнедеятельности микроорганизмов; показателе кислотности почвы, при сильном снижении которой возможно повторное известкование или внесение гипса при угрозе засоления почвы; состоянии травостоя – при сильно изреженных посевах возможен дополнительный подсев трав.

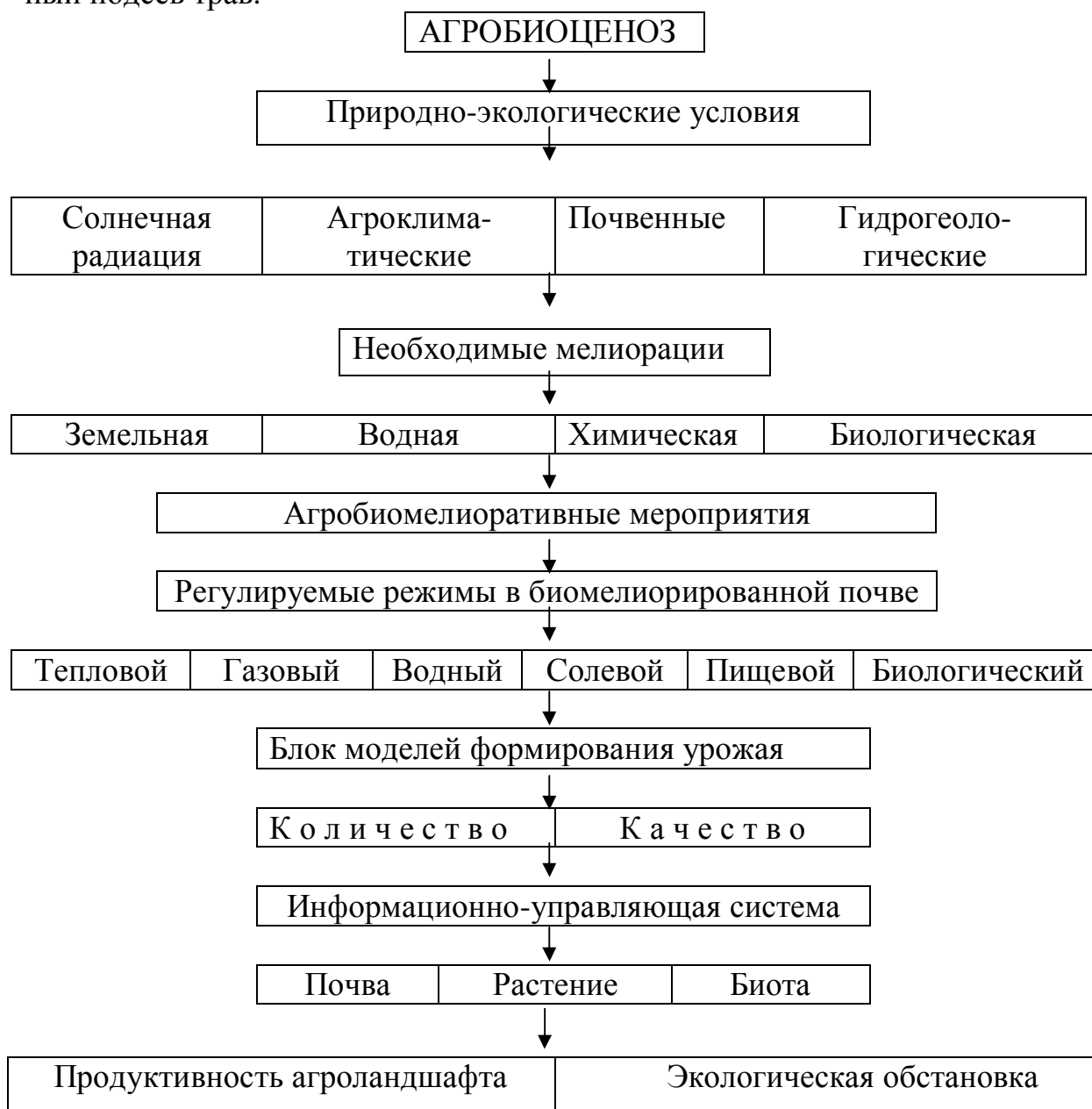


Рисунок 1 - Морфологическая схема управления факторами формирования урожая

Таким образом, за счет проведения принятой последовательности агробиомелиоративных операций, определяемых с применением расчетных методов на основе агрохимических и водно-физических анализов почвы, критериев оценки и классификаций, технологический процесс и управление мелиоративным режимом при перезалужении орошаемого многолетнего пастбища обеспечивает необходимый уровень ведения земледелия в современных условиях и защиту окружающей среды от негативных последствий, возможных при мелиорации.

Апробация отдельных элементов новой технологии инженерной биомелиорации и технических средств для ее осуществления в различных природно-климатических и хозяйственных условиях позволила определить возможность использования единой методики назначения агробиомелиоративных мероприятий по созданию в почве комфортных условий для развития корневой массы растений и жизнедеятельности микроорганизмов на загрязненных агроландшафтах. Однако, специфичные условия региона, тип почвы, состав загрязнителей и уровень применяемой в хозяйствах агротехники требуют корректировки технологического процесса, учитывающей эти особенности и возможности реализации устройства БАВС в каждом отдельном случае.

Технологический комплекс, рекомендуемый для выполнения операций Федеральным регистром базовых и зональных технологий и технических средств до 2010 г., представлен в таблице 1 в виде адаптеров технологических модулей применительно к связным и песчаным почвам.

Таблица 1 - Адаптеры технологических модулей типизированных технологий для биомелиоративных работ

Технологические блоки (операции)	Параметры условий объекта и ресурсного (технического) обеспечения	
1	2	
	Номер технологического модуля	
	3.1.1	3.1.2.
	Вариант технологического модуля (технологического адаптера) Тип почвы	
	Глинистая и суглинистая	Песчаная и супесчаная
	Комплекс мелиораций	
	Земельная, химическая, водная, биологическая	Земельная, водная, биологическая
	Способ орошения	
	Поверхностный, дождевание, внутрипочвенный	Дождевание, внутрипочвенный
	Ареал применения	
	Вся территория РФ	Вся территория РФ

1	2	
	Номер агроландшафта	
	1.1-1.8; 2.1...2.9; 3.1...3,6; 4,1...4,7; 5,1...5,4; 7,1...7,5	1.4-1.5; 2.3...2.4; 2,9; 3.3...3.4 4,7; 7.5
Предварительная обработка почвы	Борона дисковая тяжелая БДТ-3, БДТ-7	Борона дисковая тяжелая БДТ-3, БДТ-7
Вспашка почвы	Плуг ПБН-3-50; ПТН-3-40	ПЛН-4-35; ПЛН-3-35
Мелиоративная обработка почвы	Рыхлитель трех стоечный РВ-0,8; РС-0,8; РСН-2,9; РС-1,5. Щелерезы ЩН-2-140; ЩРК-0.6	Рыхлитель РС-0,8; РВ-0,8. Щелерезы ЩН-2-140; ЩРК-0,6
Внесение химмелиорантов	Разбрасыватели РУМ-8; АРУП-8; РУП-8	
Внесение минеральных удобрений	Разбрасыватели 1РМГ-4; РУМ-8; РУП-8	Разбрасыватели 1РМГ-4; РУМ-8; РУП-8
Внесение ОМБАУС	Самосвалы КраЗ-6510; МАЗ-5551 и др. Бульдозеры кл. 3...10	Самосвалы КраЗ-6510; МАЗ-5531 и др. Бульдозеры кл. 3...10
Дискование в два-три следа или фрезерование в один след	Тяжелые дисковые бороны БДТ-3,0; БДН-3,0. Фреза (новая) ФБН-1,5	Тяжелые дисковые бороны БДТ-3,0; БДН-3,0. Фреза (новая) ФБН-1,5
Предпосевная обработка семян (инокуляция, микроудобрения, стимуляторы роста)	Протравливатель семян ПС-10	Протравливатель семян ПС-10
Посев с прикатыванием	Сеялки СЗТ-3,6А; СПР-6 Сеялка с пневмовысевом (новая)	Сеялки СЗТ-3,6А; СПР-6; ССТ-3 Сеялка с пневмовысевом (новая)
Увлажнительный и вегетационные поливы	Многофункциональные дождевальные машины; ППА-300; сифоны-водовыпуски; трубки-сифоны; самотек; капельницы; микропористые трубки	Многофункциональные дождевальные машины; капельницы; микропористые трубки

Реализация метода инженерной биомелиорации проведена в различных природно-климатических и хозяйственных условиях на пустынных песчаных и сероземно-луговых почвах аридной зоны, южных черноземах, дерново-подзолистых почвах, деградированных городских и искусственной почве в теплице. Создание в почве биологически активной водорегулирующей прослойки позволяет отказаться от применения химических средств защиты растений от

болезней и вредителей, являющихся загрязнителями почвенного покрова, заменив их биологическими методами; в 1,5...2 раза снизить расход воды на единицу производимой продукции; обеспечить защиту окружающей среды от негативных последствий, возможных при мелиорации. Комплексное проведение земельной, химической и биологической мелиораций позволяют довести до оптимального процентное соотношение в деградированной почве твердой, жидкой и газообразной фаз; создать в ней благоприятные окислительно-восстановительные условия для развития биологических процессов; ускорить процесс формирования урожая сельскохозяйственных культур; в два-три раза сократить норму внесения минеральных удобрений, загрязняющих окружающую среду.

Введение в мелиоративную практику биологических методов воздействия на почвенный комплекс существенно расширяет диапазон регулирования факторов жизни растений. Появляется возможность с помощью комбинации мелиоративных мероприятий дифференцировать поглощение питательных веществ в течение времени, ограниченного сроком вегетации; проводить ускоренные рекультивации загрязненных и обедненных почв; задерживать или ускорять выход из почвы радионуклидов, солей тяжелых металлов и других, техногенных загрязнителей; получать экологически безопасную сельскохозяйственную продукцию при экономии водных, питательных и социально-экологических ресурсов.

УДК 631.6:577.4

ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Н.П. Карпенко, Л.В. Кирейчева, Д.А. Манукьян, В.М. Яшин
ГНУ ВНИИГиМ, Москва, Россия

Настоящее время характеризуется увеличением числа потенциальных источников загрязнения, которые создают неблагоприятные экологические ситуации как регионального, так и локального уровня. Особого внимания заслуживают вопросы мелиорации загрязненных территорий, где, прежде всего, оказываются пораженными почвы. Среди основных источников загрязнения особую опасность представляют очаги накопления твердых бытовых и промышленных отходов (ТБО).

Для реализации программы мелиоративных мероприятий необходима разработка обоснованных рекомендаций по очистке загрязненных почв, основанных на результатах моделирования и лабораторных исследований. Ключевым вопросом является перевод загрязнителя из нерастворимых неподвижных форм в подвижные, которые можно удалить в процессе проведения мелиораций.

Решение поставленной задачи представляется возможным при проведении специальных исследований по изучению загрязнения почв, проведению лабораторных исследований миграции и трансформации загрязняющих веществ на монолитах, выполнению моделирования процессов очистки почв от загрязнений, определению форм содержания металлов в почве.

Наиболее эффективным средством для очистки загрязненных земель является промывка с применением специальных химелиорантов. Поэтому весьма важно подобрать такие реагенты, которые бы выводили из почвы нерастворимые загрязнители.

В качестве объекта исследований была выбрана пойма р.Пахры в зоне влияния полигона твердых бытовых отходов «Щербинка» Московской области. Исследования показали наличие загрязнения почв поймы тяжелыми металлами, превышающими ПДК в несколько раз (табл.1).

Таблица 1 - Результаты анализа содержания тяжелых металлов в почвах поймы р. Пахры

Элемент	<i>Zn</i>		<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>V</i>	<i>Zr</i>
ПДК	100	30	100	50	50	300
Диапазон содержания элемента, мкг/кг	43-3270	5-55	64-160	28-65	20-100	289-650

Было установлено, что основным механизмом выноса загрязнений из свалки является вымывание токсикантов поверхностным стоком, почвенными и грунтовыми водами. Негативное воздействие полигона проявилось непосредственно в пойме реки Пахры, территория которой используется под посевы сельскохозяйственных культур (кукуруза), в которых также было обнаружено повышенное содержание тяжелых металлов (табл.2).

Таблица 2 - Содержание химических элементов в кукурузе

	Концентрации химических элементов, мг/кг									
	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Cr</i>	<i>Nb</i>	<i>Mo</i>	<i>Sr</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>
В золе кукурузы	40	23	88	15	69	14	4	200	21300	627
В перерасчете на сухое вещество	6	3,4	13,2	2,2	10,4	2,1	0,6	30	3195	94
ПДК	1	40	50	3	1	-	4	10	250	1000
Превышение ПДК, раз	6	-	-	-	10	-	-	3	13	-

В сложившихся критических условиях на рассматриваемой территории возникла острая необходимость проведения мероприятий по очистке поймы от загрязнений и восстановлению их плодородия.

Для моделирования процессов кинетики и физико-химической гидродинамики при проведении промывки почв была использована модель равновесного химического состава (компьютерная программа Шварова Ю.В. «*GIBBS*»), основанная на принципе минимальности термодинамического потенциала и позволяющая рассчитывать равновесные составы с подвижными компонентами, которая позволила определить состав всех фаз системы и поведение компонентов при изменении внешних условий.

В процессе моделирования рассчитывались варианты, при которых были выбраны гипотетические твердые фазы (минералы). Рост концентрации микрокомпонентов в растворе для ускорения промывки предполагалось вызывать увеличением ионной силы раствора или уменьшением величины *pH*, т.е. созданием кислой среды, для чего в раствор добавляли *CaCl₂*, *NaCl* или *HCl*.

Результаты моделирования показали, что добавление этих мелиорантов переводят в раствор *Cu*, *Ni*, *Pb*, *Sr*, *Co*, *Zn*. Удовлетворительные результаты по удалению тяжелых металлов из твердой фазы в жидкую (до значений ПДК в почве) удалось получить добавлением в систему соляной кислоты концентрации 0,05 моль/л или хлорида кальция 0,1 моль/л.

Результаты моделирования были сопоставлены с результатами промывок монолитов, проведенных в лабораторных условиях. Отбор монолитов осуществлялся в специальных шурфах в металлические кольца диаметром 14,5 см и высотой 20 см. Монолиты отбирались из трех горизонтов (0 – 40, 65-90 и 110-140 см) с различным литологическим строением. Перед проведением опытов нижний торец зачищался под уровень нижней кромки цилиндра, а в верхней части цилиндра отбиралось некоторое количество грунта (высотой 2-3 см), поверхность выравнивалась, и на нее последовательно укладывался геотекстиль и песчано-гравийная смесь.

Подготовленный монолит устанавливался в специальный поддон, выполненный из оргстекла и имеющий выводной патрубков и дренажный слой, состоящий из геотекстиля и песчано-гравийной смеси. Для исключения протечки воды пространство между стенками металлического кольца и поддона тщательно гидроизолировалось. Промывка монолитов осуществлялась речной водой, отобранной из р.Пахры, а последовательность проведения опытов заключалась в следующем:

- вначале верхняя емкость заполнялась водой, объем которой замерялся, и фиксировалось время начала опыта;
- для поддержания определенного слоя воды 2-3 см на специальную подставку устанавливался питающий сосуд, а монолит сверху закрывался пленкой для предотвращения испарения воды;
- в дальнейшем осуществлялся систематический контроль динамики профильтровавшейся жидкости с помощью мерного цилиндра, изменения температуры фильтрата и его электропроводности, а также отбор проб фильтрата на химический анализ;
- для интенсификации процессов влаго- и солепереноса в случаях, когда фильтрация в значительной степени замедлялась или прекращалась полностью,

осуществлялось вакуумирование монолита путем создания вакуума в буферной емкости, подсоединенной в выводному патрубку.

Частота отбора проб фильтрата (объемом 150-200 мл) определялась необходимостью получения достоверных «выходных» кривых изменений химического состава фильтрата. Априорно она устанавливалась в точках фильтрата 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5 и далее через 0,5 объема одного порового пространства монолита. Емкость порового пространства монолита ориентировочно составляла 1,3 л.

Внесение мелиорантов в процессе опыта осуществлялось двумя способами. В первом случае мелиорант (глинозем + цеолит + сапропель) в виде порошка перемешивался с почвой и для этого из обоймы извлекался верхний 7-10 см слой почвы, перемешивался с сухим мелиорантом и полученная смесь укладывалась обратно. Во втором случае мелиорант (нитроаммофос) вносили в виде взвеси или раствора непосредственно в промывную воду в процессе проведения промывки.

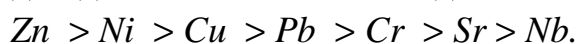
Цель внесения мелиоранта состояла в улучшении фильтрационной способности грунта за счет структурообразующего действия и интенсификации выноса минеральных солей для ускорения проведения промывки путем снижения *pH* раствора, так как подвижность таких элементов как *Cu*, *Sr*, *Zn* наибольшая в кислых почвах.

В процессе опытов фиксировалось изменение скорости фильтрации грунта и выноса минеральных солей до и после внесения мелиоранта, а по результатам изменения устанавливалась эффективность и доза внесения мелиоранта.

Необходимость внесения химмелиоранта диктовалась тем, что на каком-то этапе промывка прекращалась или ее эффективность резко снижалась; при этом уменьшалась и солеотдача грунтов. В процессе исследований было установлено, что внесение 20 г химмелиоранта на 4,0-4,5 кг грунта позволяет увеличить коэффициент фильтрации на 25-50%. Вместе с тем в значительной степени увеличивалась и солеотдача грунтов, что способствовало повышению эффективности проведения промывок.

Динамика выноса тяжелых металлов для различных монолитов приведена на рисунках 1-2.

Результаты проведения промывки монолитов в почвах отложений р.Пахры показали эффективность выноса тяжелых металлов. Так, содержание ионов цинка снизилось на 40%, никеля – на 38%; меди на 37%; свинца – на 32%, хрома – на 23%; циркония – на 21% и ниобия – на 9%. По данным промывок были составлен ряд подвижности элементов для ТБО «Щербинка»:



Выполненные исследования явились обоснованием для разработки рекомендаций по эффективности очистки почв от токсичных элементов до требуемых показателей. Это подтвердило и проведенное моделирование по модели равновесной химической термодинамики. Следует отметить, что эффективность предлагаемых мероприятий будет достигнута в том случае, если пойма будет изолирована от негативного воздействия полигона путем ликвидации поверхностного смыва и перехвата подземных вод.

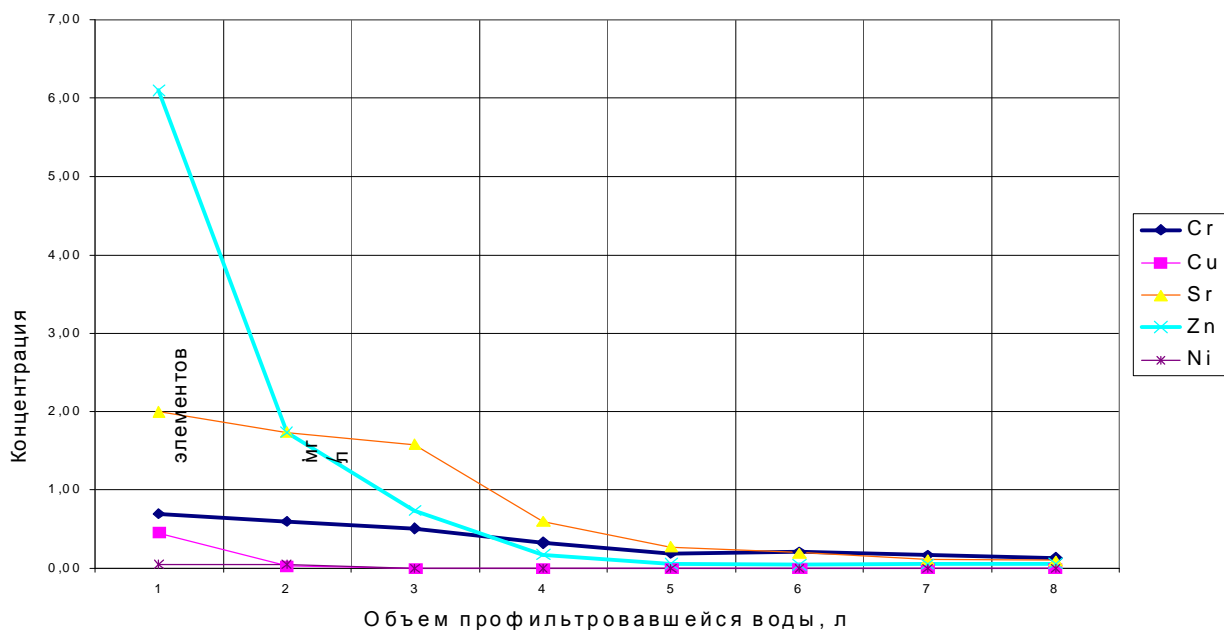


Рисунок 1 - Динамика тяжелых металлов в фильтратах при промывке монолита 11 с гл.0,3 м после внесения химмелиорантов

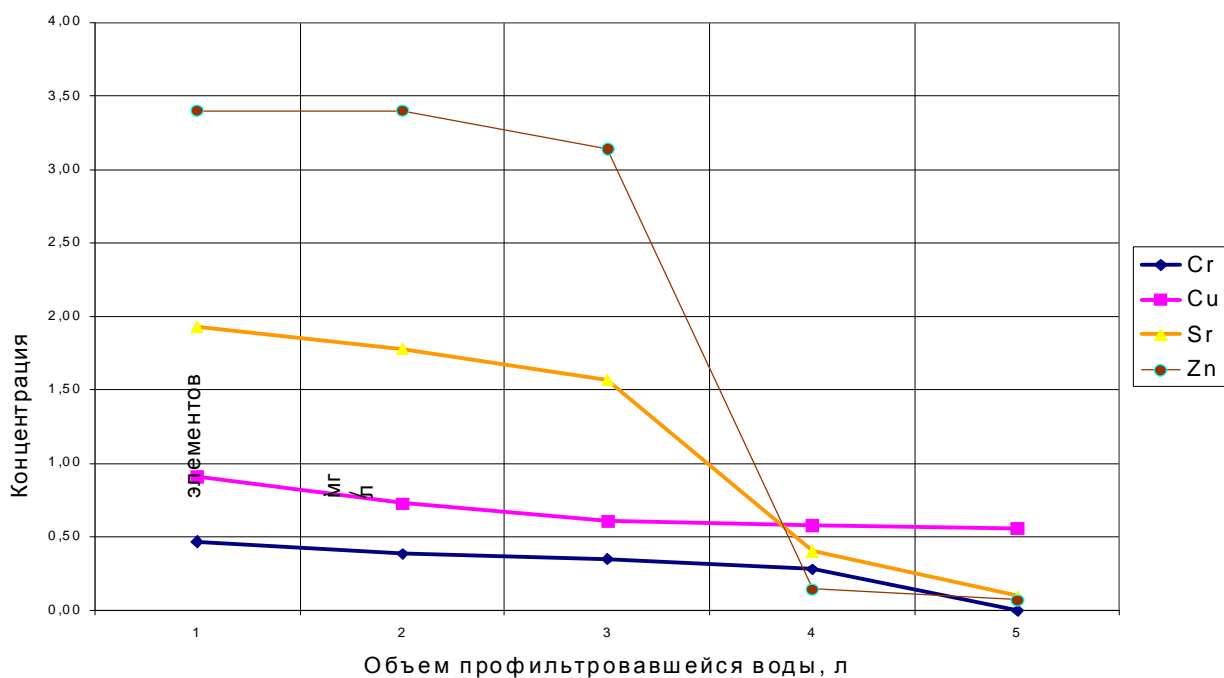


Рисунок 2 - Динамика тяжелых металлов в фильтратах при промывке монолита 5 (гл.1,2 м) после внесения химмелиорантов

Расчеты показали, что очистку пойменных отложений возможно осуществить путем промывки и подачи воды в объеме 14-15,5 тыс. м³/га (нетто), время проведения промывки составит 30 суток. Общий объем необходимой водоподдачи составит 90-100 тыс. м³ при средней минерализации дренажных вод 3-4 г/л.

Для повышения эффективности проведения промывки до подачи воды на поле рекомендуется проведение глубокой вспашки или рыхления на глубину до 0,5 м и внесение химмелиорантов оструктурирующего действия (хлористый кальций, кислые удобрения, кислоты и т.д.). Рекомендуемая доза химмелиоранта - 10 т на гектар промываемой площади. Очистку пойменных земель от тяжелых металлов можно осуществить проведением промывки на фоне внесения кислых мелиорантов.

Исследования показали, что при снижении рН с 7,3-7,5 до 5,0-5,5 из почвы будут выносятся свинец, цинк, никель, цирконий. Промывка водой в объеме 7-8 тыс м³/га позволяет снизить содержания указанных элементов до требуемых ПДК.

В качестве дополнительных методов очистки загрязненных почв могут быть рекомендованы биологические методы (фитомелиорации) – выращивание технических культур и растений, которые аккумулируют тяжелые металлы.

Литература

1. Борисов М.В., Шваров Ю.В. Термодинамика геохимических процессов. – М.: МГУ, 1992, 256с.
2. Манукьян Д.А., Карпенко Н.П. Применение моделей равновесной химической термодинамики в задачах гидрогеоэкологии. - Сб. Экологические основы орошаемого земледелия. М., ВНИИГиМ, 1995, с.255-262

УДК 632.15

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ БЕНТОНитОВОЙ ГЛИНЫ ДЛЯ ДЕТОКСИКАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ

Нгуен Суан Хай

Вьетнамский Национальный Университет, Ханой, Вьетнам

Загрязнение почв тяжелыми металлами во Вьетнаме происходит вблизи промышленных городов и заводов из-за быстрой урбанизации. Наиболее распространенными тяжелыми металлами являются медь, цинк, свинец, ртуть, никель и кадмий. Поступление таких тяжелых металлов в почву осуществляется из воздуха, воды, а также с внесением органических и минеральных удобрений. Производство овощной продукции для потребностей города реализуется в основном на загородных землях. В последние годы проблема, связанная с пищевыми отравлениями и болезнями населения при потреблении овощной продукции, стала актуальна. Для того чтобы сельскохозяйственная продукция, в том числе овощи, были безопасны для человека и животных, содержание в них тяжелых металлов не должно превышать допустимые нормы. В настоящее время содержание тяжелых металлов в овощах на рынке часто превышает ПДК (табл. 1), (Нгуен Суан Тхань, 2002).

Таблица 1 - Содержания тяжелых металлов в овощах, выращиваемых в провинции Тханчи (Ханойская область), мг/кг сырого веса

Тяжелые металлы	Pb	As	Hg
Кочанная капуста	2,0	9,6	0,81
Водяной вьюнок	0,73	3,67	0,71
Салат	6,0	3,0	0,90
ПДК	0,6	0,2	0,06

Для детоксикации почв, загрязненных ТМ, в исследованиях была использована естественная бентонитовая глина (бентонит), характеристика которой представлена в таблице 2.

Таблица 2 - Некоторые характеристики естественного бентонита в Кодинь, Тханхоа провинции Вьетнама

pH _{KCl}	ЕКО	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Удельная поверхность
	мг-экв/100г глина			м ² /г
7,82	57,2	26,1	12,3	589,2

Бентонитовая глина имеет слабую щелочную среду, значительную емкость поглощения и удельную поверхность. Бентонит был внесен в древнеаллювиальную почву, основные характеристики которой даны в таблице 3.

Таблица 3 - Агрохимические свойства древнеаллювиальной почвы на опытном участке

pH _{KCl}	C	N	P ₂ O	K ₂ O	N	P ₂ O	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	ЕКО
	%				мг/100г почвы			мг-экв/100г		
7,45	1,12	0,095	0,203	1,70	4,48	4,80	7,74	7,20	3,31	20,94

Исследуемая почва имеет нейтральную реакцию, ЕКО высокая, содержание питательных элементов от средних до высоких норм.

Загрязнение почвы вызвано антропогенными причинами: использованием в качестве удобрений ила из местного пруда, орошение сточными водами, ненормированное внесение минеральных удобрений. Опыт был проведен с зеленой капустой на почвах, искусственно загрязненных тяжелыми металлами в количестве: Pb - 100; Cd- 3; As- 20; Hg- 2 мг/кг почвы соответственно. Эти нормы соответствуют ПДК в почве. Опыт включал 3 варианта: контрольный, внесение 4,5 г бентонита на кг почвы (1 кг/м²) и 6,75 г бентонита на кг почвы (1,5 кг/м²) в 6-и кратной повторности.

Благодарно высоким значениям ЕКО и удельной поверхности бентонита, вносимого в почву, содержание тяжелых металлов снизилось соответственно с нормой внесения бентонита (табл. 4).

Таблица 4. Влияние подвижных содержаний тяжелых металлов в почве по вариантам, мг/кг

Варианты	As	Hg	Cd	Pb
№ 1 (Конт.)	3,54	<0,05	1,25	55,8
№ 2 (4,5 г/кг почвы)	3,00	<0,05	1,14	38,3
№ 3 (6,75 г/кг почвы)	2,00	<0,05	0,96	35,1

Из таблицы 4 можно сделать следующие выводы:

- содержание подвижных форм Hg в всех вариантах ниже 0,05 мг/кг, что значительно ниже ПДК;

- содержание As, Cd, Pb в варианте №2 снизилось - 15,2%, 8,8 и 31,3% соответственно, и в варианте №3 составило 43,5%, 24,0%, 38,9% (рис. 1).

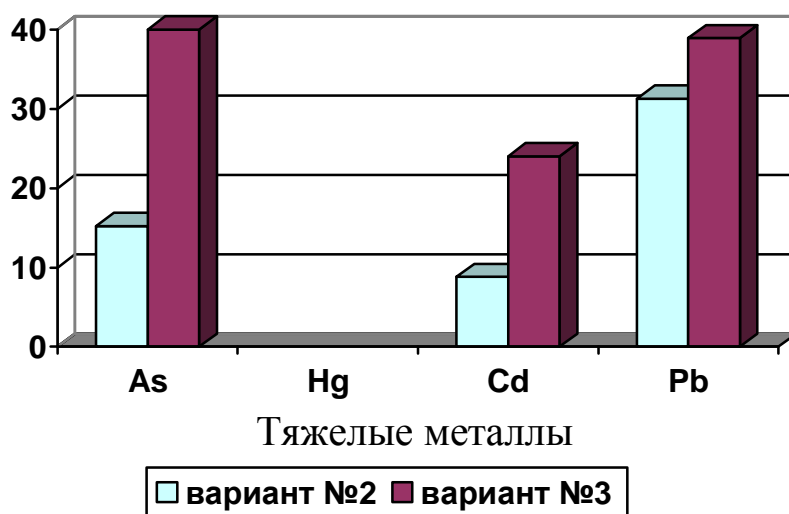


Рисунок 1 - Снижение содержания подвижных форм тяжелых металлов по сравнению с контролем по вариантам опыта

Снижение содержания подвижных форм тяжелых металлов в почве предопределило аккумуляцию тяжелых металлов в растении (табл. 5).

Таблица 5. Влияние бентонита на аккумуляцию тяжелых металлов в зеленой капусте, мг/кг

Варианты	As	Hg	Cd	Pb
Контрольный	<0,2	0,07	0,47	0,50
№ 2	<0,2	<0,05	0,23	0,23
№ 3	<0,2	<0,05	0,38	0,39
ПДК	0,2	0,02	0,03	0,5

Результаты анализов показали:

- содержание As во всех вариантах ниже 0,02 мг/кг, т.е. не превышает ПДК;

- значение Hg в контрольном варианте выше ПДК, но при внесении бентонитовой глины в опытном варианте его содержание снизилось до 0,05, что ниже ПДК, норма снижения составила 28,6%;

- содержание Cd во всех вариантах выше ПДК, хотя в вариантах с внесением бентонита произошло снижение с 19,2 до 51,0% по сравнению с контролем, соответственно в вариантах №2 и №3;

- содержание Pb в контрольном варианте на уровне ПДК, а в опытных вариантах №2 и №3 ниже ПДК, снижение на 54 и 22% соответственно по сравнению с контролем (рис. 2).

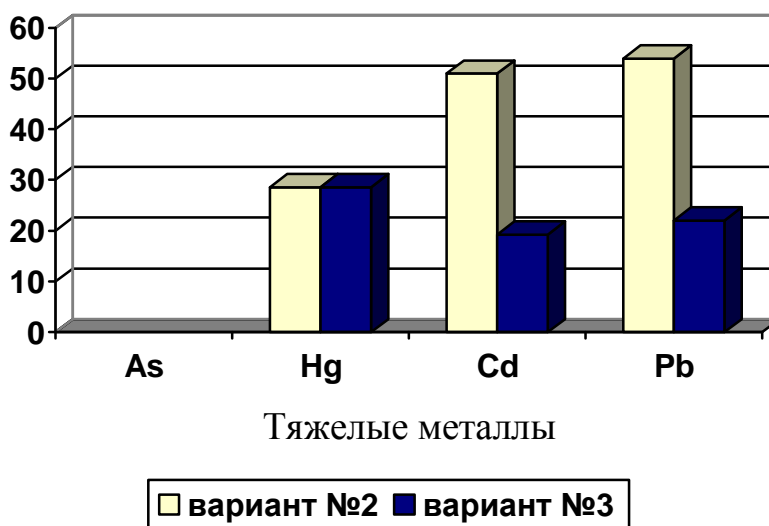


Рисунок 2 - Снижение содержания некоторых ТМ в зеленой капусте при внесении в почву бентонитовой глины

Внесение бентонита в почву обеспечивает не только детоксикацию почвы, что препятствует поступлению ТМ в растения, но и повышает урожайность зеленой капусты в варианте №2 на 16,34% и в варианте №3 на 9,62% (табл. 6).

Таблица 6 - Урожайность зеленой капусты в опытных сосудах

Варианты	Контрольный	№ 2	№ 3
Средняя урожайность (г/сосуд)	71,00	82,60	77,83
Повышение (%)	0	16,34	9,62

ВЫВОДЫ

1. Бентонит можно использовать при мелиорации земель для детоксикации почв, загрязненных ТМ, благодаря его слабой щелочности, высоким значениям ЕКО, Ca^{2+} , Mg^{2+} и большой удельной поверхности.

2. Исследованиями установлено, что внесение бентонита в почву позволило снизить содержание подвижных форм As, Cd и Pb. Норма их снижения существенно зависела от нормы внесения бентонита. Поэтому можно использовать бентонит для детоксикации почв, загрязненных тяжелыми металлами (As, Cd, Pb), так как запас бентонита во Вьетнаме достаточный.

3. Эффективность внесения бентонита подтверждается результатами опытов на зеленой капусте. Содержание ТМ в капусте, выращенной на почве, загрязненной Pb: 100; Cd: 3; As: 20; Hg: 2 мг/кг, при внесении бентонита обеспечило снижение Hg, Cd и Pb на 20 – 54 %. Внесение бентонита позволило повысить урожайность зеленой капусты на 9,62-16,43% по сравнению с контролем.

УДК 631.445.124

ВЛИЯНИЕ ДОЗ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ РАЙГРАСА ТЕТРАПЛОИДНОГО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ КОМПЛЕКСОМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

В.Г. Головатый, В.Н. Буравцев, Е.А. Котова
ГНУ ВНИИГиМ, Москва, Россия

Для широкого внедрения фиторемедиации в производство необходимо развертывание исследований по совершенствованию селекции и агротехники выращивания фиторемедиантов для оптимального функционирования их в мелиоративной деятельности. Однако многие стороны разработки таких технологий, включая подбор растений для различных зон страны и видов деградации почв, разработка системы удобрений в зависимости от видов и уровней ТМ в почве и т.п., остаются недостаточно разработанными.

Методика проведения исследований

С целью подбора растений для фиторемедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами, была проведена серия вегетационных исследований. В экспериментах изучалось влияние тяжелых металлов (ТМ) в сочетании с различными видами минеральных удобрений на урожайность райграса.

Этот вид растений выбран в связи с тем, что у него быстро нарастает биомасса. В наших полевых опытах за сезон формировалось до 13 т сухой массы райграса при сенокосном использовании травостоя. Кроме того, он является одним из компонентов пастбищ и городских газонов. Эти качества райграса могут быть использованы как для вегетационных (модельных) исследований, так и для полевых опытов по разработке технологий ремедиации почвы, учитывая его высокую отзывчивость на многие экологические факторы. Однако как растение – ремедиант этот вид растения практически не исследован.

Опыт проводился в вегетационных сосудах, для набивки которых использовалась полевая почва в количестве 3 кг. Агрохимические свойства почвы следующие: рН – 5,25; сумма поглощенных катионов (S) – 34 мг-экв/100 г почвы; гумус – 1,53 %; P₂O₅ – 25.5 мг/100г почвы; K₂O – 11,7 мг/100 г почвы.

Общее исходное содержание ТМ в почве: цинк – 24,44 мг/кг почвы, медь и свинец - отсутствуют. Процентное содержание металла в реактивах рассчитывалось на основании их атомных масс. Для опыта использовались следующие химически чистые соли: Zn в виде соли ZnSO₄ • 7H₂O; Cu - CuSO₄ • 5H₂O; Pb - Pb(CH₃COO)₂. Посев производился спустя неделю после внесения ТМ в

почву. Полив проводился один-два раза в сутки в зависимости от напряженности метеорологических условий и контролировался путем взвешивания. Количество растений в сосуде – 16 шт. Райграс тетраплоидный убирался в стадии начала колошения.

Регрессионный анализ результатов эксперимента проводили по Налимову и Черновой (1965), исследование поверхности отклика модели - методом «ридж-анализа» по Н. Дрейперу (1963).

Результаты исследований

В таблице 1 представлен план эксперимента и его результаты, а в таблице 2 - кодировка факторов. На основании данных таблицы 1 проведен регрессионный анализ, позволивший установить взаимосвязь между накоплением сухой массы надземными органами райграса, дозами удобрений и уровнем ТМ, которые вносились в почву. Результаты анализа в виде регрессии второго порядка (модель 1), приведены ниже:

$$Y_1 = 7.60 + 1.53 \cdot X_1 + 0.27 \cdot X_2 + 0.57 \cdot X_3 - 0.66 \cdot X_4 - 1.26 \cdot X_5 + 0.003 \cdot X_6 - 0.94 \cdot X_1^2 - 1.33 \cdot X_2^2 + 1.27 \cdot X_3^2 - 1.48 \cdot X_4^2 - 1.96 \cdot X_5^2 - 0.89 \cdot X_6^2 + 0.23 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0.03 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0.27 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0.72 \cdot X_1 \cdot X_5 - 0.44 \cdot X_1 \cdot X_6 - 0.91 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0.42 \cdot X_2 \cdot X_4 + 0.06 \cdot X_2 \cdot X_5 - 0.18 \cdot X_2 \cdot X_6 - 0.55 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0.52 \cdot X_3 \cdot X_5 - 0.17 \cdot X_3 \cdot X_6 + 0.17 \cdot X_4 \cdot X_5 + 0.10 \cdot X_4 \cdot X_6 + 0.27 \cdot X_5 \cdot X_6 \quad (1)$$

где Y_1 – сухая надземная масса, г/сосуд; X_1, X_2, X_3 – дозы удобрений: азота, фосфора и калия; X_4, X_5, X_6 – уровни ТМ: цинка, меди и свинца (расчеты коэффициентов модели проводились в относительных единицах). Коэффициент множественной корреляции равен 0.9.

По модели 1 методом "ридж-анализа" определяли максимум функции в пределах радиуса опыта и соответствующие ему значения факторов. Результаты исследования приведены на рисунке 1. Установлено, что для максимального накопления сухой наземной массы райграсом (9.72 г/сосуд) необходимы следующие условия: азот - 231, фосфор - 81, калий - 423, цинк - 277, медь - 185, свинец - 139 мг/кг почвы. Потребность в цинке и меди для максимального накопления сухой массы, скорее всего можно объяснить их недостатком в почве, как микроэлементов. Потребность в свинце может быть связана с влиянием его на почвенно-поглощающий комплекс.

В ранее проведенной работе со сведой высокой нами было установлено, что для каждого уровня засоления, с целью поддержания высокой продуктивности растений, необходимо подбирать соответствующее сочетание основных элементов минерального питания. Учитывая результаты этих исследований, нами было сделано предположение, что и для каждого уровня загрязнения почвы ТМ, с целью поддержания высокой урожайности райграса, необходимо так же подбирать свои уровни и сочетания элементов удобрений.

Для подтверждения этого предположения был проведен численный эксперимент на модели 1. С этой целью в модель 1 поочередно вводили три уровня тяжелых металлов, а полученные в результате этих вычислений уравнения, исследовали методом "ридж-анализа" с целью определения максимума функции в пределах радиуса опыта и соответствующие ему значения факторов, т.е. оптимизировали минеральное питание относительно различных уровней комплекса ТМ в почве.

Таблица 1 - План и результаты вегетационного эксперимента

Варианты опыта	Уровни факторов (относительные единицы)						Надземная сухая масса, г/сосуд
	Азот	Фосфор	Калий	Цинк	Медь	Свинец	
1.	0	0	0	700	500	150	0,34
2.	0	180	0	0	500	300	1,22
3.	0	0	450	700	500	300	0,22
4.	350	90	0	0	0	300	6,61
5.	350	0	0	0	500	0	0,42
6.	350	180	450	0	500	300	0,86
7.	0	180	450	0	0	300	1,90
8.	350	180	0	700	500	0	4,45
9.	0	0	450	700	0	0	2,00
10.	350	0	0	700	500	300	0,11
11.	350	0	0	700	250	0	0,64
12.	175	180	450	700	500	0	0,07
13.	350	0	450	700	500	150	0,05
14.	0	180	225	700	500	300	0,12
15.	350	180	225	0	0	0	6,49
16.	175	180	0	700	0	0	5,33
17.	175	0	450	0	0	0	7,52
18.	350	180	450	700	0	0	5,84
19.	175	0	0	700	500	0	0,78
20.	0	90	0	700	0	300	1,51
21.	0	90	450	0	500	0	1,68
22.	0	90	0	0	0	0	1,38
23.	350	180	450	700	250	300	4,63
24.	0	0	225	0	0	300	1,24
25.	350	0	450	350	500	0	5,19
26.	350	0	0	350	0	0	6,41
27.	350	0	450	700	250	300	5,81
28.	175	90	225	350	250	150	7,51
29.	350	0	450	0	250	300	8,28
30.	350	0	450	350	0	300	7,58
31.	350	180	0	350	0	300	6,14
32.	350	180	450	0	250	0	8,29
33.	0	180	450	0	500	150	1,65
34.	0	180	0	350	500	0	0,82
35.	0	0	0	350	500	300	1,53
Контроль	0	0	0	0	0	0	1,59
НСР ₀₅							0,08

Таблица 2 - Кодировка факторов

Значение факторов в единицах:						
относительных	абсолютных (мг / кг почвы)					
	Азот	Фосфор	Калий	Цинк	Медь	Свинец
-1	0	0	0	0	0	0
0	175	90	225	350	250	150
1	350	180	450	700	500	300
Шаг варьирования	175	90	225	350	250	150

Результаты численного эксперимента приведены в таблице 3, из данных которой следует, что урожайность сухой массы райграса удается поддерживать на уровне оптимального варианта на почвах со средним уровнем содержания в почве комплекса тяжелых металлов (цинк - 350, медь - 250 и свинец - 150 мг/кг почвы) за счет изменения доз и соотношения различных видов удобрений. Однако увеличение загрязнения почвы комплексом ТМ до наиболее высокого уровня (цинк - 700, медь - 500 и свинец - 300 мг/кг почвы) уже не позволяет за счет изменения баланса элементов минерального питания поддерживать продуктивность растений на уровне оптимального варианта (см. рис. 1), накопленные сухой надземной массы по сравнению с ним снижается на 69%.

Таким образом, при высоком уровне экстремального фактора в среде очень важно найти такое сочетание азота, фосфора и калия, которое смягчало бы отрицательное действие тяжелых металлов на продуктивность растений.

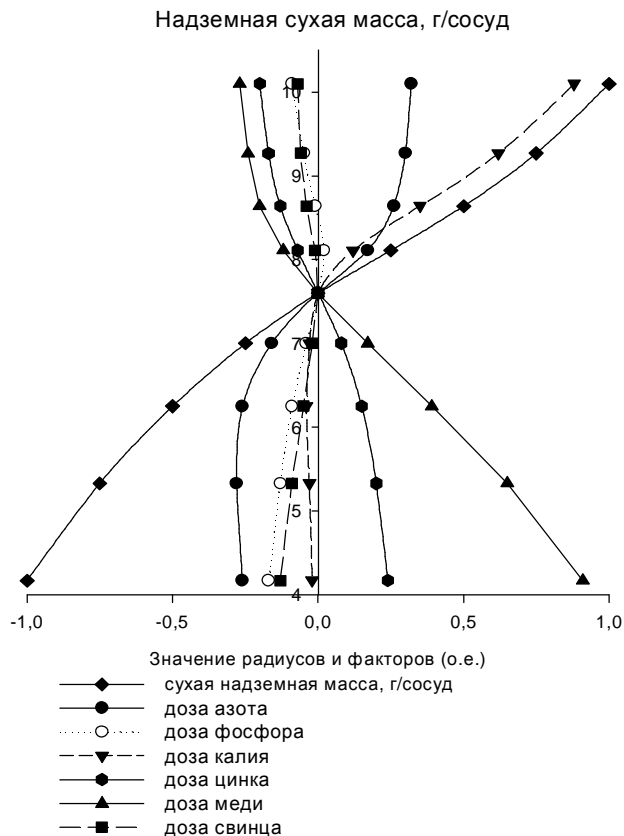


Рисунок 1 – Оптимизация исследуемых факторов накопления сухой надземной массы райграсом

Таким образом, установлено, что изменением уровня и соотношения доз удобрений при высоких уровнях комплекса ТМ в почве (если сравнение проводить с глобальным оптимумом) нельзя довести продуктивность растений до максимального уровня. Однако эту проблему можно рассмотреть и с иной точки зрения: сравнивать варианты с оптимизированными (сбалансированными по азоту, фосфору и калию) и неоптимизированными (не сбалансированными по основным элементам минерального питания) дозами удобрений на фоне различного загрязнения почвы тяжелыми металлами. Численный эксперимент на модели 1 проводился следующим образом: за основу несбалансированных вариантов были взяты дозы удобрений, которые были оптимальны при отсутствии в среде загрязнения тяжелыми металлами (рис.1) и на их фоне задавались различные уровни комплекса ТМ (нижняя половина табл.3). При определенном уровне ТМ в почве эти дозы удобрений уже не оказывают положительного влияния на продуктивность растений, по-видимому, в силу несбалансированности элементов минерального питания. Результаты численного эксперимента приведены в таблице 3.

Из данных таблицы 3 следует, что до среднего уровня загрязнения почвы комплексом ТМ сравниваемые варианты (3 и 6) уже различались на 12%. Дальнейшее увеличение загрязнения почвы комплексом ТМ до 1 (в относительных единицах) приводило к снижению продуктивности райграса уже на 22% при сравнении сбалансированных и не сбалансированных по элементам питания вариантов (сравнение ведется между 4 и 7 вариантами).

Таблица 3 - Накопление сухой надземной массы райграсом при оптимальном и неоптимальном сочетании доз удобрений в различных условиях загрязнения почвы комплексом тяжелых металлов

Варианты опыта	Уровень изучаемых факторов (относительные единицы)						Надземная масса		
	Азот	Фосфор	Калий	Цинк	Медь	Свинец	г/сосуд	%	
Варианты, сбалансированные по элементам минерального питания									
1.	0.32	-0.10	0.88	-0.21	-0.26	-0.08	9.72	100*	-
2.	0.45	-0.1	0.63	-1	-1	-1	9.52	98	100**
3.	0.29	-0.09	0.95	0	0	0	9.68	99	100***
4.	0.03	0.24	-0.97	1	1	1	4.02	41	100****
Варианты, не сбалансированные по элементам минерального питания									
5.	0.32	-0.10	0.88	-1	-1	-1	8.21	84	86**
6.	0.32	-0.10	0.88	0	0	0	8.55	88	88***
7.	0.32	-0.10	0.88	1	1	1	2.75	28	68****
НСР ₀₅							0.08		

* За 100% принимается вариант оптимальный по всем изучаемым факторам

** Сравнение проводится по вариантам, имеющим одинаковое количество звездочек

В связи с этим, обращает на себя внимание тот факт (см. табл. 3), что оптимизация состава и доз удобрений для продуктивности райграса проходила

путем снижения доз азота и калия и увеличения доз фосфора при внесении их в почву. Это, естественно, привело к снижению накопления сухой массы надземными органами, но оно было менее значительным, чем на неоптимальном варианте. Фосфор, в этом случае, возможно, связывает часть ТМ, снижая поступление последних в ткани растений, и одновременно он может активизировать физиолого-биохимические процессы в растении, создавая тем самым более благоприятные условия для роста и развития райграса.

Выводы

1. Для максимального (в пределах радиуса опыта) накопления райграсом сухой надземной массы необходимы следующие начальные дозы удобрений: азот - 231, фосфор - 81, калий - 423, цинк - 277, медь - 185.

2. Установлено, что отрицательное воздействие загрязнения почвы комплексом ТМ (цинк, медь и свинец) на рост и развитие райграса можно частично компенсировать, в условиях оптимального водного режима, подбором доз азота, фосфора и калия.

УДК 631.432.26

К ОЦЕНКЕ ПРИТОКА ГРУНТОВЫХ ВОД В ПОЧВУ*

Е.А. Макарычева

ГНУ ВНИИГиМ, Москва, Россия

Приток грунтовых вод в почву осуществляется под действием капиллярных сил, которые отражают строение порового пространства почвы и проявляются в диапазоне равновесной влажности $\omega_0 < \omega_p < ПВ$ соответствующей зоне капиллярного увлажнения над зеркалом воды (ЗКУ) высотой H^* . Здесь ПВ – полная влагоемкость, ω_0 - влажность капиллярного равновесия при предельном натяжении менисков на верхней границе ЗКУ (О.В.Шаповалова, 1957, 1987).

Значения ω_0 , определяемые при разрежении 0,9 атм капилляриметрическим методом, соответствуют содержанию микропор и возрастают при переходе от песчаных почв к глинистым. Высота капиллярного поднятия закономерно увеличивается с увеличением содержания крупнопылеватых частиц диаметром 0,01 – 0,05 мм (С), образующих активные капиллярные поры (Е.А.Макарычева, 1998):

$$H^* = 50 + 2,2C, \text{ см} \quad (1)$$

Эпюра равновесной влажности в ЗКУ отражает зависимость капиллярного потенциала (H_k) от содержания пор разных размеров в диапазоне $0 < H_k < H^*$ и является одной из основных водно-физических характеристик почв и пород. Второй важнейшей характеристикой является капиллярная проводимость (V^*), представляющая собой максимальную скорость капиллярного впитывания воды в исходно сухую почву при формировании ЗКУ (Н.А.Качинский, 1970).

С увеличением высоты увлажненной зоны значения V^* уменьшаются вследствие снижения градиента капиллярного потенциала (I_k), который на

* Примечание редакции: статья публикуется в порядке дискуссии

верхней границе зоны снижается до нуля. При этом скорость поглощения воды ($V_{п}$) становится равной скорости испарения ($V_{и}$):

$$V_{п} = V_{и} + V^* \quad (2),$$

где $V^* = K I_k$, K – коэффициент влагопроводности, $I_k = 0,5 (H^* - H_k)$.

Определение эпюры равновесной влажности и коэффициента влагопроводности производят методом высоких монолитов, рассчитывая скорость поглощения воды по скорости движения фронта увлажнения в почве (породе) с исходной влажностью не более ω_0 (Е.А.Макарычева, 1987).

Зависимости $V^*(H_k)$ и $K(H_k)$ являются степенными: например, для супесчано-суглинистой и лессовой пород Вахшской долины зависимости $K(H_k)$ имеют следующий вид (Е.А.Макарычева, 2006):

$$K_{сс} = 64,5 / H_k^{1,37} \quad (3)$$

$$K_{л} = 48,0 / H_k^{1,2} \quad (4),$$

где значения капиллярного потенциала измеряются в сантиметрах, а коэффициента влагопроводности – в мм/сут.

Для расчета скорости притока грунтовых вод в почву необходимо иметь следующие данные: зависимость $K(H_k)$ для породы зоны аэрации, глубину залегания уровня (H_p), мощность расчетного слоя почвы (h_p), график капиллярного потенциала почвы на его подошве – $H_{к,п}(t)$ в расчетный период времени. Скорость притока ($V_{гр}$) определяется значением K_p , соответствующим капиллярному потенциалу породы, равному разности $H_p - h_p$ и расчетным градиентом (I_p) изменяющимся во времени вследствие динамики капиллярного потенциала почвы (Е.А.Макарычева, 2005).

В качестве примера рассмотрим двухслойный профиль орошаемого массива, характеризуемый зависимостями (3) и (4) при мощности расчетного слоя почвы 1,0 м и глубине залегания уровня 1,4 м. На подошве расчетного слоя значения $H_{к,п}$ возрастают в межполивной период от 30 до 90 см вследствие уменьшения влажности от наименьшей влагоемкости до критического значения, соответствующего высоте капиллярного поднятия.

При $t = 0-2-3-4-6-8-10-12-14$ сут и $H_{к,п} = 30-35-40-45-60-70-80-85-90$ см значения коэффициента влагопроводности составляют 0,62-0,48-0,41-0,35-0,25-0,19-0,16-0,15 мм/сут. Значение K_p при расчетном капиллярном потенциале породы 40 см в соответствии с формулой (4) составляет 0,55 мм/сут. Результаты расчета скорости притока грунтовых вод в период $t > 3$ сут приведены в таблице 1. Там же в скобках указаны значения скорости оттока воды из почвы после полива ($V_{от}$) при отрицательной разности $H_p - h_p$.

При глубине залегания уровня 1,2 – 2,5 м значения коэффициента влагопроводности породы – в соответствии с (4) – изменяются в диапазоне от 1,31 мм/сут до нуля (табл. 2).

Значения скорости притока грунтовых вод, соответствующие $H = 1,3 - 1,6 - 1,8$ м, к концу межполивного периода составляют 24,0 – 5,10 – 1,20 мм/сут. Графики $V_{гр}(t)$ для указанных значений глубины залегания уровня представлены на рисунке 1, зависимость продолжительности периода до начала притока грунтовых вод (t_n) от глубины залегания уровня представлена на рисунке 2.

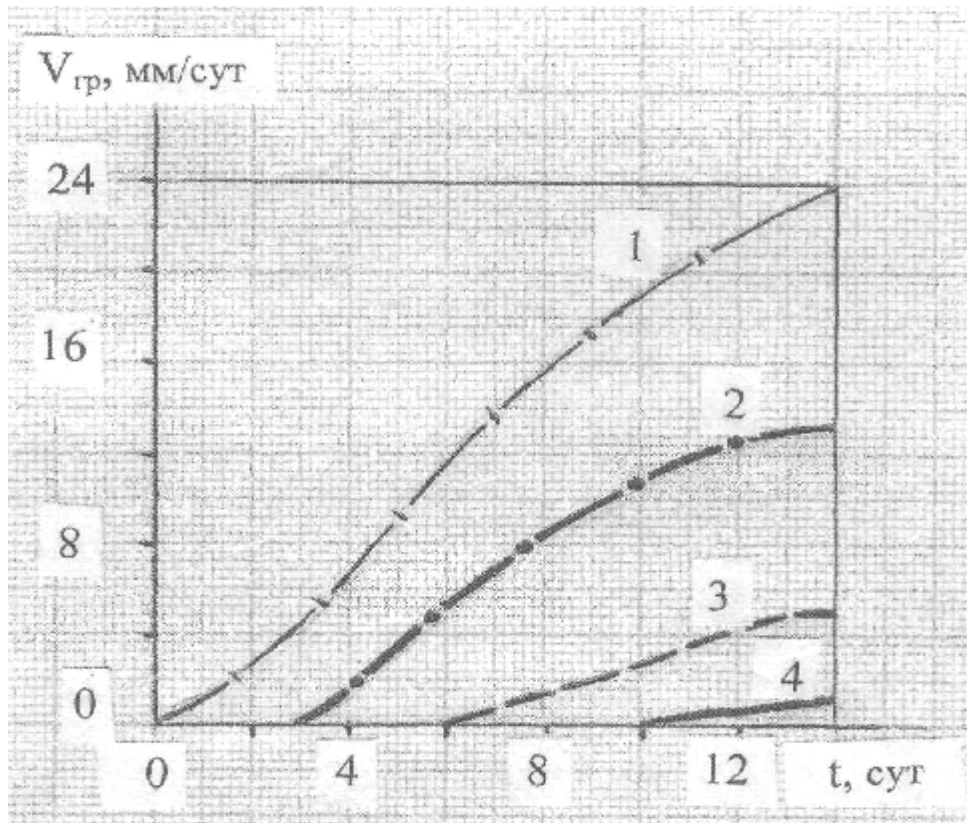


Рисунок 1 – Графики скорости притока грунтовых вод в почву при разной глубине залегания их уровня: 1 – 1,3 м; 2 – 1,4 м; 3 – 1,6 м; 4 – 1,8 м

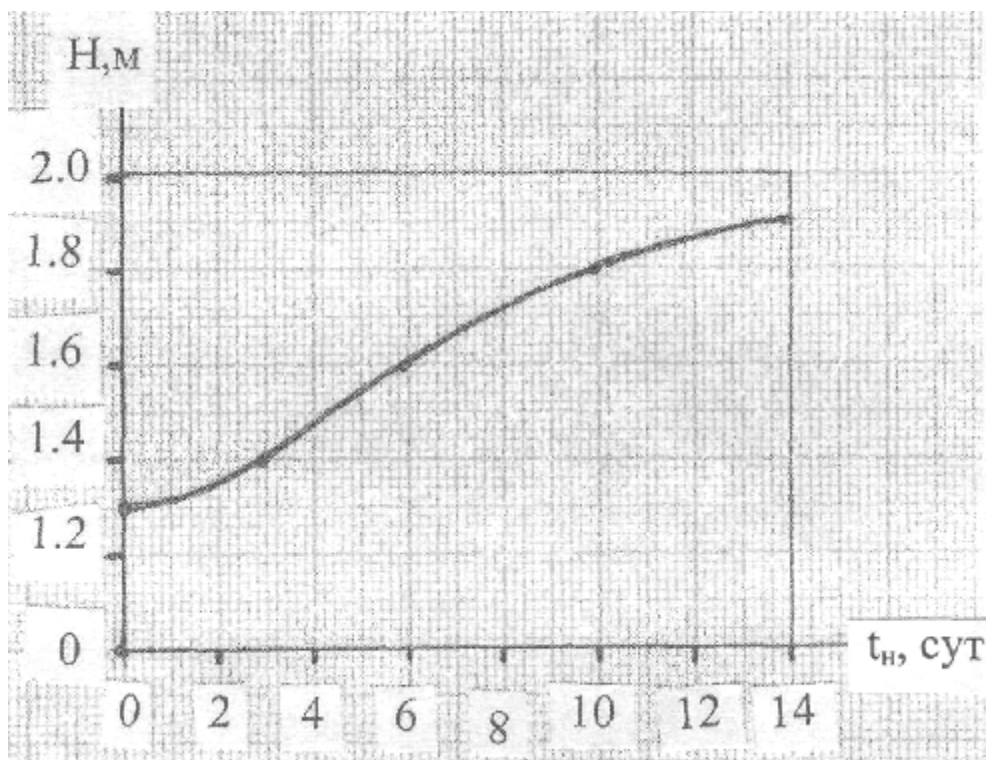


Рисунок 2 – Зависимость продолжительности периода до начала притока грунтовых вод в почву от глубины залегания их уровня