

УДК 631.452:631.95

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ

В.И. САВИЧ

(Кафедра почвоведения)

В работе доказывается, что для оптимизации агрофитоценозов необходимо оценивать и оптимизировать систему почва — растение — окружающая среда, компоненты которой взаимосвязаны. Система характеризуется совокупностью полей. При этом все поля системы, в том числе и концентрационные, характеризуются кодом — напряженностью, частотой, периодичностью, временем воздействия, мощностью, градиентом между компонентами системы и т.д. Угнетение системы возможно при неблагоприятных значениях даже одного из параметров кода любого из существующих в системе полей, при нарушении трофических взаимосвязей. Принцип наибольшей экономической эффективности и экологической целесообразности систем земледелия определяет модель плодородия почв в соответствии с уровнем интенсификации производства, типом севооборота, потоками вещества в ландшафте. Экологические ограничения при конструировании модели плодородия обусловлены возможностью загрязнения вод, растительности, воздуха, разрушением озонового слоя, нарушением трофических взаимосвязей и уменьшением разнообразия экологических ниш, нарушением процессов саморазвития почв, отдельных почвенных процессов и режимов. В работе приводятся материалы для дерново-подзолистых почв, подтверждающие теоретические положения.

Проблема экологических последствий антропогенных, часто необратимых, изменений почв, являющихся основным природным ресурсом сельского хозяйства, с каждым годом все острее встает перед

теорией и практикой в области наук о земле и перед всем народно-хозяйственным комплексом. Однако теоретические и методические принципы экологической паспортизации сельскохозяйственных угодий, а тем более оптимизации экологической обстановки на них разработаны недостаточно. Имеются решения лишь частных вопросов, однако все они

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект № 93-05-8752.

рассмотрены, во-первых, без учета всех взаимосвязей в экологической системе и, во-вторых, на уровне установления качественных зависимостей, но не корректного расчета происходящих физико-химических, биохимических и других трансформаций и превращений. Существующие математические модели являются, как правило, эмпирическими, чаще очень упрощенными с точки зрения физико-химии и биологии процессов. Просчеты при реализации этих моделей приводят не только к дальнейшему нарушению экологической обстановки, но и к большим экономическим потерям.

Методика

Объектом исследования выбраны дерново-подзолистые почвы Московской области, в частности, дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы учхоза «Михайловское» [2]. После теоретической разработки вопроса были поставлены модельные опыты и осуществлена статистическая обработка данных анализов почв учхоза «Михайловское» и других хозяйств Московской области. В модельных экспериментах образцы почвы компостировали в условиях оптимальной и избыточной влажности с добавлением CaCO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в течение 1 мес. В дальнейшем в почвах определяли рН, Eh, рСа, р NO_3 , р NH_4 , рК — с ионоселективными электродами, содержание водорастворимых соединений Са, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, К — на атомном абсорбционном спектрофотометре.

В полевых условиях отобраны образцы почв с производственных полей учхоза «Михайловское», со стационарных площадок кафедры поч-

ведения Тимирязевской академии и полей опытов кафедры агрохимии, в которых изучается влияние разных доз минеральных удобрений на свойства почв и урожай культур. Определены агрохимические и физико-химические свойства этих почв общепринятыми методами, содержание положительно и отрицательно заряженных соединений ионов в почвах и растениях — методом химической автографии на основе электролиза, ионитовых мембран [5], оценено содержание подвижных катионов в отдельных слоях структурных отдельностей. В лабораторных условиях изучено также влияние тяжелых металлов на фотосинтез растений — с использованием принципа обратной связи: введение элемента в суспензию почв — ответная реакция растений, идентифицируемая по активности фотосинтеза [6], введение элементов в суспензию хлоропластов изучаемых растений — изменение активности хлоропластов. При проведении статистической обработки материала ($n = 100+300$) выяснены зависимости содержания подвижных ионов в почве от рН среды, степени гумусированности, содержания фосфатов.

Теоретические основы экологических ограничений при разработке моделей плодородия почв

Решение экологических проблем определяется общими принципами термодинамики и энергоэнтропии. Почва является биокосным телом. При этом для ее развития, как и для всех неживых систем, характерна тенденция к росту энтропии, потере информации, убыли свободной энергии. В то же время, поскольку почва

формируется под влиянием зеленых растений, для нее характерна также тенденция к накоплению информации, негэнтропии, свободной энергии.

В соответствии с принципами энергоэнтропика в каждом классе материальных систем преимущественное развитие получают те, которые при данной совокупности внутренних и внешних условий достигают максимального значения негэнтропии или максимальной энергетической эффективности (КПД, долговечности, надежности). Это характерно для прогрессивно развивающихся почв. При нарушении экологической обстановки происходит деградация почв, начинает преобладать тенденция к возрастанию энтропии, рассеянию вещества и энергии, уменьшению свободной энергии системы. В связи с этим решение экологических проблемных ситуаций может быть направлено как на уменьшение энтропии, так и на увеличение свободной энергии почв.

Основные принципы оценки экологического состояния агрофитоценозов

С нашей точки зрения, при оценке экологического состояния системы почва — растение — грунтовые воды — приземный слой воздуха необходимо придерживаться следующих принципов.

1. В природе существует единое энергетическое информационное поле, которое идентифицируется по параметрам концентрационных, магнитных, электрохимических, гравитационных, осмотических и других полей. Все поля тесно взаимосвязаны друг с другом, и изменение одного поля меняет и другие

поля. Загрязнение среды также вызывает изменение всех полей в системе, и для оптимизации обстановки в ряде случаев возможно воздействие на одно из полей; при этом будут меняться и другие. Это положение иллюстрируется экспериментальными данными, представленными на рис. 1.

2. Каждое поле, существующее в системе почва — растение — среда, характеризуется кодом: напряженностью, частотой, периодичностью, временем воздействия, мощностью, градиентом между компонентами системы и т.д. Для оценки экологического состояния системы необходимы изучение и характеристика всех составляющих кода. Угнетение системы возможно и при неблагоприятных изменениях одного из параметров полей или градиента между компонентами системы. Это определяет возможность оптимизации обстановки при прямом или косвенном воздействии на один из параметров поля или на градиент между компонентами системы.

3. Оптимальные значения параметров кода полей определяются равновесием со средой и в связи с этим для разных условий неодинаковы, что важно учитывать при разработке ПДК. Поскольку показатели кода меняются при изъятии образца из системы, а тем более при его высушивании и растирании, необходимо изучение живых объектов почва — растение — среда в динамике, так как только в этом случае можно определить состояние системы с учетом всех полей, режимов, происходящих процессов, их эволюции. Почва является зеркалом ландшафта. Все потоки вещества и энергии, водных и воздушных токсикантов происходят через почву,

трансформируются в ней. Поэтому решение экологических проблем без детального изучения процессов, протекающих при этом в почве, невозможно.

4. При оценке экологического состояния почвы и агрофитоценоза мы имеем дело с саморазвивающейся системой, представляющей собой совокупность подсистем, объединенных общим процессом развития, совершающимся на основе внутренних противоречий и воспроизводящим необходимые для своей целостности условия. Данная система состоит из отдельных функциональных подсистем. Такими взаимосвязанными функциональными подсистемами являются почва — растение — микроорганизмы — животный мир — водная и воздушная среда — человеческое общество. С ними тесно связаны неразвивающиеся искусственные подсистемы, созданные человеком. Так, в почве тесно взаимосвязаны микроорганизмы, животные, растения, компоненты твердой фазы, водной и воздушной среды, различные виды полей [1].

В связи с указанным важным принципом экологической паспортизации является оценка и оптимизация всех компонентов экологической системы (в том числе и человека) в их взаимосвязи во времени.

5. Особенности развития биогеоценозов состоят в том, что это живые системы, организмы, популяции, ландшафты, у которых есть свои регуляторы функционирования — память, механизмы саморазвития и саморегулирования. В связи с этим решение проблем экологии почв возможно с учетом не только статических свойств, но и режимов и процессов, резонанса генетичес-

кого кода отдельных компонентов рассматриваемых систем.

6. Человечество является подсистемой биосферы. Уровень решения экологических проблем, возможность его практической реализации определяются величиной информации, степенью организации населения данного региона.

7. При прогрессивном развитии экологическая система достигает характерного для каждой совокупности внешних и внутренних условий предела, который можно выразить максимальным значением соответствующего вида негэнтропии. При этом преимущественное развитие получает та система, которая при данной совокупности внутренних и внешних условий достигает наибольшего значения негэнтропии или максимальной энергетической эффективности. Деградация системы приводит к возрастанию энтропии. В связи с указанным при оценке экологического состояния системы необходимо оценить ее биологическую продуктивность (для всех компонентов — растительного и животного мира, человека), коэффициент полезного действия использования солнечного света, поступающего в систему вещества и энергии.

В то же время уточнение степени прогресса или регресса развития системы может быть проведено при оценке накопления в системе энтропии, негэнтропии, изменения свободной энергии в ходе развития и эволюции. При этом рост энтропии соответствует сокращению информации, увеличению доли беспорядка, уменьшению разнообразия. В конкретном проявлении — это миграция удобрений, мелиорантов, ядохимикатов и в целом вещества и

энергии в грунтовые воды, в атмосферу, за пределы рассматриваемой системы; это уменьшение разнообразия экологических ниш для почв, растений, животных, микроорганизмов; снижение разнообразия видов почв, растений, животных, микроорганизмов, развитие эрозии; увеличение степени однообразия рельефа, почвенного профиля, свойств почв во времени и в пространстве, однообразия сельскохозяйственного использования почв (в частности, при отмене системы севооборотов). В почве уменьшение информации, накопление негэнтропии и свободной энергии соответствует также упрощению состава органического вещества, комплексных соединений, вторичных минералов. Таким образом, важным принципом экологической паспортизации является оценка, с одной стороны, накопления негэнтропии или энтропии системы, с другой — оценка изменения свободной энергии системы и ее составных частей.

При этом условия прогрессивного развития для отдельных компонентов экологической системы могут не совпадать. Например, условия, необходимые для интенсивного роста сельскохозяйственных культур (в частности, интенсивное удобрение, применение ядохимикатов), приводят к росту их биологической продуктивности, накоплению в растениях негэнтропии и свободной энергии, но для совокупной системы растение — почва — среда — человек такие условия могут привести к нарушению экологического равновесия, а для всей экологической системы — к уменьшению накопления негэнтропии, росту энтропии, уменьшению энергетической эффективности и биологичес-

кой продуктивности системы.

8. Важным принципом оценки экологического состояния природных систем является экологическая оценка плодородия почв. Принцип наибольшей экономической эффективности и экологической целесообразности системы земледелия, модели плодородия почв предполагает, что последняя должна соответствовать достижению максимального коэффициента полезного действия системы земледелия, использования солнечного света [4]. Необходимым условием является рассмотрение модели плодородия с точки зрения равновесия экологических систем. При этом плодородие следует считать интегральным свойством биосферы.

Для поддержания экологического равновесия необходимо соблюдение оптимумов плодородной почвы. Нельзя создавать почву с высоким содержанием элементов питания, если при этом загрязняются грунтовые воды, атмосфера, сельскохозяйственная продукция.

Стремление к экологическому равновесию определяет обратимость процессов, происходящих в почве под влиянием антропогенных факторов, что определяет, например, необходимость повторного известкования и т.д.

В природе плодородие прогрессивно повышается в отношении доминирующих видов до какого-то определенного уровня, который отличается определенным соотношением накопления внутренней энергии, энтропии и негэнтропии. Для монокультуры и даже некоторых севооборотов при данной степени интенсификации производства также будет характерен свой предел плодородия в зависимости от кли-

матических условий и условий почвообразования. Попытки использовать почву, плодородную для одних культур, для выращивания других приводят как к падению плодородия, так и к нарушению экологического равновесия, уменьшению биопродуктивности системы.

Важным для разработки моделей плодородия является вопрос существования и взаимодействия экологических ниш для отдельных групп микроорганизмов, определенных растений, животных, для формирования тех или иных свойств почв. Можно рассматривать экологические ниши как оптимальное место для размещения конкретного севооборота или культуры. Конкретные экологические ниши существуют и в определенных горизонтах почв, в мезо- и микрозонах. Естественно, что распашка, как и любое антропогенное воздействие, приводит к нарушению этих ниш, к росту энтропии системы и в конечном итоге к уменьшению биопродуктивности. Соседние экологические ниши оказывают влияние друг на друга через тепловые, магнитные, электрические, концентрационные поля в почве, посредством воздействия экза-метаболитов растений, корневых выделений, распространения специфических вредителей и болезней, путем завоевания ареала. Устранение множественности экологических ниш в равновесной экологической системе приводит к уменьшению ее биопродуктивности.

Сам процесс окультуривания почв сопровождается направленным изменением свойств почв с целью обеспечения оптимальных параметров для роста, развития конкретных групп культур, но чаще он сопровождается нарушением экологичес-

кого равновесия. Это, безусловно, приводит к потерям накопления энергии и информации в экологической системе в целом. Целесообразно на разных типах почв, на разных элементах рельефа, при определенной структуре почвенного покрова выращивать только наиболее приспособленные к ним культуры или группы культур. Даже в антропогенно загрязненных почвах устанавливается в конечном итоге свое экологическое равновесие. Выявление значений параметров, характеризующих это равновесие, и их достижение позволят и на загрязненных почвах добиваться максимально возможной для последних биологической продуктивности при возделывании наиболее приемлемой культуры.

9. Нарушение экологического равновесия, ограничение максимальной продуктивности агроценозов и биоценозов возможны не только из-за техногенной нагрузки, токсичных по величине антропогенных потоков вещества и энергии, но и тесно связаны с буферными свойствами почв, ландшафтов, гомеостатическими особенностями агроландшафтов. Для каждой экологической системы существуют свои безопасные пределы техногенной нагрузки, повышения плодородия почв, орошения, осушения, внесения химикатов, максимально достижимой урожайности.

10. Важным принципом экологической паспортизации является комплексная оценка экологических и трофических взаимосвязей на уровне, диктуемом экономическими возможностями оптимизации обстановки. Успешное решение экологических проблем возможно только в том случае, если при этом не угнетается

ни один компонент биогеоценоза, не происходит нарушения трофических связей. Воздействия на систему с целью ее оптимизации являются наиболее эффективными, если они проводятся при достижении резонанса воздействия и режима протекающих в системе процессов, определяемых эволюционной и генетической периодичностью.

11. Предельно допустимая концентрация отдельных токсикантов будет неоднозначной, с одной стороны, из-за различий в их сочетании, с другой — из-за разной степени токсичности для компонентов системы. Например, предельно допустимая концентрация калия будет неодинаковой при его миграции в грунтовые воды, при влиянии на структуру почв, pH среды, гумусовое состояние, на фильтрационные свойства почв, для конкуренции с Са при поступлении последнего в растения, при использовании растений на корм животным или в пищу человека и т.д. Это подтверждается данными, приведенными в экспериментальной части. Отсюда следует, что важным принципом экологической паспортизации сельскохозяйственных угодий является признание относительности ПДК по отдельным компонентам при их различном сочетании, а также необходимости конкретизации значений ПДК для отдельных компонентов системы и ее параметров [5, 6].

Следует различать уровни ПДК для разных почв и их свойств, растений, воды, воздуха и т.д. Уровень ПДК определяется уровнем интенсификации производства и экологического образования, а также экономическими возможностями.

Существуют свои предельно допустимые концентрации по отдель-

ным компонентам для почв, растений, среды. Значения ПДК выражаются в концентрации газообразных, водорастворимых, обменных, подвижных форм соединений и ионов, активности компонентов. По любому компоненту она определяется всеми свойствами системы, а абсолютной может быть только для конкретного случая. При изменении любого состояния системы уровень ПДК меняется.

12. Уровень загрязнения определяется не одним компонентом, ионом, а сочетанием воздействующих на систему факторов при проявлении эффектов синергизма, антагонизма, при возможном непредвиденном появлении процессов саморазвития. В связи с указанным или необходимо введение интегральных показателей степени загрязнения, например, индекса деградации фитоценоза, уровня суммарного загрязнения, или необходимо индексировать влияние загрязнения по воздействию на наиболее чувствительные компоненты системы [3].

13. Для интегральной оценки степени загрязнения необходимо использовать биологические тесты: активность ферментов, микроорганизмов, грибов, дрожжей, водорослей, отклик на загрязнение отдельных органов растений и отдельных процессов метаболизма в органах растений, животных, человека.

14. Существующие в почве энергетические и информационные поля связаны между собой сложными зависимостями, характерными для определенных лимитов изучаемых параметров (полей, кода полей). Для корректной экологической паспортизации необходимо составление и последовательное уточнение физико-химической модели происходя-

щих процессов на уровне эмпирических, полурациональных и рациональных формул и алгоритмов. При этом важны не только вычисление статистических величин, но также анализ градиентов полей во времени и в пространстве, выяснение режимов и процессов (рис. 1-3).

15. Успешное решение экологических проблем возможно только при создании условий экономической целесообразности и эффективности мероприятий при оправданно высоких штрафах за нарушение экологического равновесия, строго дифференцированных ценах за чистую и загрязненную продукцию, почву, ландшафт. При этом ряд перечисленных принципов оценки экологического состояния агрофитоценозов (1, 3, 8, 9, 12, 13, 15) необходимо учитывать при существующем уровне интенсификации сельскохозяйственного производства, остальные — при более высоком уровне интенсификации.

Методики оценки экологического состояния агрофитоценозов

К настоящему времени биосферные процессы под влиянием антропогенного воздействия существенно изменились, при этом не только уменьшился КПД систем земледелия, но и возникли новые взаимосвязи, приводящие к непредсказуемым последствиям. Требуется незамедлительные исследования для выработки наиболее эффективных решений по оптимизации биосистем. Это обусловлено и нашей тревогой за окружающую среду, и все возрастающими экономическими потерями. В конечном итоге лавинообразное ухудшение экологического состояния может привести не

только к появлению мертвых ландшафтов, но и к социальным потрясениям. Экономические потери обусловлены: ухудшением качества земель и более низкой их ценой, более низкой продуктивностью сельскохозяйственных угодий и в целом биоценоза; ухудшением качества продукции растениеводства, а также животноводства, рыбоводства, лесных угодий и т.п., более низкой их стоимостью, загрязнением вод и необходимостью их очистки, а в ряде случаев необходимостью доставки питьевой воды издалека, загрязнением вод и влиянием их на технологические циклы ряда предприятий, ухудшением самочувствия людей, частичной потерей трудоспособности, уменьшением производительности труда (физического и умственного); ухудшением самочувствия животных, развитием болезней, уменьшением эффективности их откорма; появлением социальных стрессовых ситуаций различного масштаба, приводящих к понижению КПД всех систем.

Таким образом, в конечном итоге нарушение экологического равновесия связано с огромными экономическими потерями. При оптимизации обстановки все это должно компенсироваться за счет виновника экологической токсикации. Только поставив экологические проблемы на уровень строгих расчетов экономических потерь, их полного возмещения виновником, можно ожидать успехов в улучшении экологической ситуации.

Важным моментом конструирования и сохранения моделей плодородия почв является оценка допустимых доз внесения на поля компостов, удобрений и мелиорантов. Нор-

мы компостов, удобрений, мелиорантов определяются содержанием в них токсикантов, буферными свойствами почв, условиями среды. Существующий принцип расчета допустимого внесения в почву токсичных веществ основан на том, что после применения компостов, полученных на основе осадков сточных вод, суммарное содержание токсиканта в почве (с учетом рассеивания в пахотном слое) не должно превышать ПДК валового содержания исследуемых токсикантов. При этом в ряде случаев вводятся эмпирические коэффициенты, учитывающие содержание гумуса, рН, гранулометрический состав.

Рассматривая предложенные в литературе методики расчета, следует указать на следующие их недостатки.

1. Коэффициенты, учитывающие содержание гумуса, рН, гранулометрический состав, выбраны произвольно и одинаковы для различных почв.

2. Не учтены такие важные показатели почв, как их сорбционная емкость, а при более детальных расчетах — эффективные константы равновесия в системе мигрирующий токсикант — твердая фаза. Эти константы равновесия определяются эффективными константами устойчивости комплексов токсикантов в компостах и эффективными константами ионного обмена токсикантов из компоста на ионы почвенного раствора, с одной стороны, и эффективными константами устойчивости комплексов ионов токсикантов с твердой фазой почвы, их эффективными константами ионного обмена, эффективными произведениями растворимости образующих-

ся в твердой фазе труднорастворимых осадков — с другой.

При этом важное значение имеет скорость указанных процессов, количество мигрирующей по профилю воды и скорость ее миграции.

3. Токсичное влияние на биоту, почву, грунтовые воды оказывают не валовое их содержание, а их подвижные формы, и в первую очередь их активность, что не всегда принимается во внимание.

4. Токсичное влияние на отдельные компоненты биогеоценоза будет определяться и различными ПДК токсикантов.

5. Токсичное влияние нескольких токсикантов не может быть равно арифметической сумме их действия, так как существуют процессы синергизма и антагонизма.

6. Уровень токсичного влияния токсикантов определяется свойствами почв и условиями внешней среды.

Все изложенное выше свидетельствует о необходимости поиска новых методов расчета допустимых доз токсикантов, в том числе содержащихся в осадках сточных вод при внесении их на сельскохозяйственные угодья и в биоэкосистему.

Допустимые дозы токсикантов, вносимых на поля с компостами, определяются, с нашей точки зрения, следующими выражениями:

$$X < K/ПДК - фон/ABC,$$

где X — допустимая доза токсиканта (Cu, Ni, Zn, Pb и т.д.) в конкретный год, кг/га; ПДК — предельно допустимая концентрация токсиканта в подвижном состоянии или в водорастворимой форме в зависимости от компонента биогеоценоза, по которому определяется ПДК (для зерновых, овощных и других куль-

тур; с целью предотвращения просока в грунтовые воды, для отдельных групп микроорганизмов, гумусового состояния почв, физических и других свойств почв). В зависимости от компонента биогеоценоза, по которому определяется ПДК, его значения будут различными. В то же время в зависимости от загрязненности территории ее можно использовать по-разному: при малой степени загрязнений — под овощи, при большей — под зерновые, при еще большей — под технические культуры или исключать из сельскохозяйственного использования. *Фон* — фоновая концентрация токсиканта в почве в тех формах, по которым и определена ПДК. *A* — коэффициент, показывающий долю перехода валовых форм токсиканта в подвижные формы, по которым ведется расчет ПДК. При более точной оценке он определяется коэффициентом селективности почвы к токсиканту. *B* — коэффициент пересчета вносимого токсиканта с учетом мощности слоя, плотности почв, единиц размерности. *C* — коэффициент, учитывающий возможное вымывание токсиканта с учетом рельефа, количества и интенсивности выпадения осадков, фильтрационных свойств почв. *K* — коэффициент, учитывающий разную устойчивость отдельных компонентов биогеоценоза к токсиканту при распространении формулы на эти компоненты.

В приведенном уравнении обе стороны могут регулироваться. Так, *X* — предельно допустимая доза токсиканта в год — может быть изменена при увеличении срока планирования на ряд лет. При этом часть токсиканта мигрирует за пределы

системы, часть инактивируется, часть более прочно закрепляется. Это может быть учтено введением коэффициентов K_1, K_2, K_3 . При внесении токсиканта с другими компонентами возможно снижение его дозы, что следует учитывать введением коэффициентов k_1, k_2, k_3 . В то же время может быть увеличена устойчивость компонентов биогеоценоза к токсиканту (*K*), уменьшена способность токсиканта переходить из валового в водорастворимое состояние (*A*), увеличена масса почвы, реагирующей с токсикантом (*B*). Указанные пути позволяют уменьшить токсикацию экологической системы при постоянном уровне загрязнения.

Оценка экологической безопасности применения компостов на полях определяется токсикантами органического и минерального характера, твердыми, жидкими и газообразными продуктами. Возможна токсикация почвы, растений, водной и воздушной среды. К сожалению, в реальных условиях не все указанные коэффициенты известны.

При оценке пригодности загрязненной почвы для отдельных культур перспективно учитывать коэффициент биологического поглощения тяжелых металлов конкретными культурами. Правильнее оценивать коэффициент биологического поглощения (КБП) по отношению к водорастворимым формам соединений тяжелых металлов или по отношению к содержанию подвижных форм их соединений. Естественно, значение КБП будет зависеть и от сочетания всех свойств почв и условий роста культуры. КБП позволяет с использованием данных о ПДК тяжелого металла в растении рас-

считать ПДК его содержания в почве. Если КБП определен по отношению к водорастворимым формам токсиканта, то знание констант равновесия реакций в системе почва — почвенный раствор дает возможность рассчитать ПДК подвижных-обменных форм токсиканта. Аналогичные принципы подхода следует применять и при оценке предельно допустимых доз удобрений и мелиорантов для конкретных почв.

Экспериментальная часть

Ниже приведены экспериментальные данные, иллюстрирующие часть высказанных теоретических положений. Взаимосвязь концентрационных, электрических и тепловых полей почв иллюстрируется рис. 1 и 2. На рис. 1 показано волновое распространение окисления в дерново-подзолистой почве при внесении в центр образца $KMnO_4$. Соответственно изменялись Eh и содержание в микрозонах Fe^{2+} , Fe^{3+} , NO_3^- , NH_4^+ и других ионов. На рис. 2 видны темпе-

ратурные поля, возникшие при реакции смешанного образца дерново-подзолистой почвы (вариант 175N50P105K) с KNO_3 . При этом разность температур центра и периферии образца была ниже, чем в контроле, и составляла $7,0^\circ C$ ($23,0-16,0^\circ C$), меньший тепловой эффект реакции, очевидно, обусловлен большей насыщенностью изучаемой почвы K и NO_3^- по сравнению с контролем.

Условия прогрессивного развития для отдельных компонентов экологической системы могут не совпадать. Оптимизация одних показателей часто приводит к неблагоприятному изменению других. В табл. 1 приведены данные о статистической связи свойств почв в полях учхоза «Михайловское».

Как видно из табл. 1, увеличение pH среды соответствует и увеличению содержания Ca, P_2O_5 , но и уменьшению соотношения Ca:K, содержания Fe, Mn в почвенном растворе, что в ряде случаев снижает общую биопродуктивность агрофитоценоза.

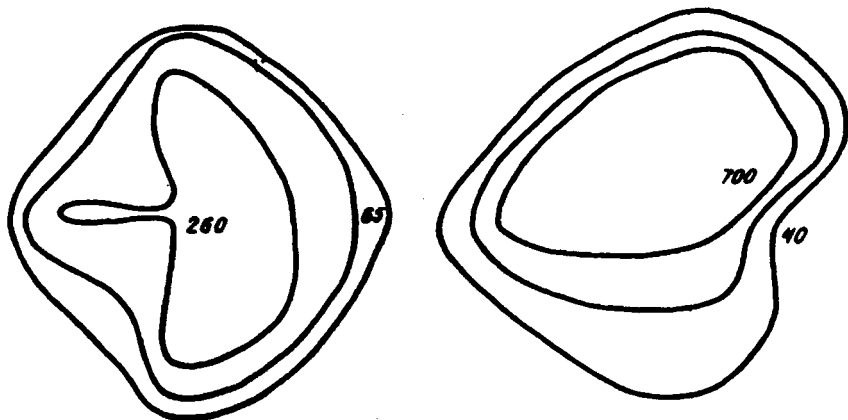


Рис. 1. Волновое распространение окисления в почве (контроль) при избыточной (слева) и оптимальной влажности (MB).

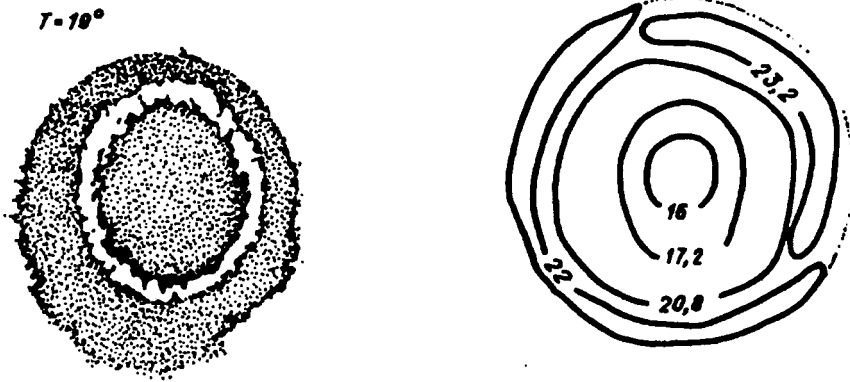


Рис. 2. Волновое распространение теплового поля в дерново-подзолистой почве при внесении в центр образца KNO_3 .

Увеличение содержания обменного калия в почвах усиливает диспергирование почв. Так, в дерново-подзолистых почвах учхоза «Михайловское» при содержании K_2O по Масловой $24,5 \pm 1,4$ мг на 100 г, водорастворимого калия — $3,83 \pm 0,44$ моль/л $\cdot 10^{-5}$ и содержания обменного калия $2,90 \pm 0,17$ % к емкости поглощения процент нефилтрирующихся образцов был равен 27,7. При содержании же обменного калия

$35,3 \pm 2,3$ мг/100 г., водорастворимого — $13,1 \pm 1,3$ моль/л $\cdot 10^{-5}$ и содержании обменного калия $4,72 \pm 0,25$ % процент нефилтрирующихся образцов возрастал до 52,6. Однако при дальнейшем росте степени насыщенности почв калием до 14 % доля нефилтрирующихся образцов возрастала незначительно. Очевидно, для данных почв уровень насыщенности ППК ионом $K \geq 5$ % можно считать критическим.

Таблица 1

Статистическая связь между рН и содержанием подвижных ионов в дерново-подзолистых почвах учхоза «Михайловское» (λ , $n = 300$)

рН	NO_3	Ca	Ca:K	P_2O_5	Fe	Mn	$P_2O_5^*$
	м/л			мг/л			мг/100 г
4,5	18,9	94,8	20,8	0,3	24,8	5,1	17,1
4,5-5,0	22,5	163,5	49,2	0,3	26,0	2,7	17,1
5,0-5,5	29,5	216,8	124,1	0,3	30,5	0,6	14,9
5,5-6,0	30,2	316,3	56,7	0,6	34,1	0,8	25,1
6,0-6,5	67,9	398,2	26,2	0,4	4,9	1,7	37,1
6,6-7,0	16,1	364,9	27,7	0,5	9,3	0,9	38,1
7,0-7,5	35,3	514,0	4,1	0,6	3,7	1,2	65,8

* P_2O_5 по Кирсанову.

Увеличение содержания в почве подвижных фосфатов вызывает в ряде случаев несбалансированность отношения N:P:K, уменьшение подвижности некоторых поливалентных ионов.

Таким образом, как очень низкое, так и очень высокое содержание любого компонента в системе вызы-

вает ее нарушение и уменьшение биологической продуктивности. При этом уровень оптимума по любому из показателей зависит как от сочетания всех свойств почв, так и от внешних условий, уровня антропогенного воздействия. Это относится и к загрязнению почв (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Статистическая зависимость подвижности Cu, Zn, Mn, Co в дерново-подзолистых почвах от pH и гумусированности (мг/кг, n = 200)

Показатель	P ₂ O ₅	Cu	Zn	Mn	Co
Содержание гумуса, %					
2-3	—	8,3±1,7	17,4±3,7	62,4±6,1	1,7±0,2
3-4	—	11,4±2,5	22,5±4,2	67,5±4,6	1,5±0,1
4-5	—	13,9±3,5	25,5±4,6	74,9±10,9	1,8±0,1
5-8	—	15,2±6,2	27,6±8,7	57,8±15,6	0,9±0,2
pH:					
5-6	201±59	4,7±0,1	9,9±2,7	83,5±17,5	1,6±0,4
	508±53	6,0±2,0	8,4±7,6	58,3±8,9	1,7±0,5
	759±38	6,9±1,7	13,7±2,8	50,5±4,4	1,3±0,1
6-7	844±21	15,2±2,2	28,1±3,2	71,9±5,8	1,6±0,1

Из данных табл. 2 следует, что содержание подвижных Cu, Zn, Mn, Co, определяемое общепринятыми в агрохимической службе методами, закономерно изменяется в зависимости как от степени гумусированности, так и от pH среды и содержания подвижных фосфатов. И оптимум, и предельно допустимая концентрация будут зависеть от сочетания указанных и других свойств почв.

Влияние антропогенной нагрузки на свойства почв неоднозначно для разных элементов ландшафта и отдельных компонентов структуры почвенного покрова, в падах, кутинах, для отдельных слоев структурных отдельностей.

Табл. 3 показывает, что в слабокультурных почвах происходит

обеднение внешнего слоя структурных отдельностей Ca, Mg, в хорошо окультуренных — обогащение. Отдельные слои различаются и по другим показателям. Очевидно, это следует учитывать при анализе почвенных процессов, так как реакции протекают в первую очередь на внешних слоях отдельностей.

На рис. 3 видно, что изменение концентрации удобрения при разном удалении от гранул вызывает и изменение подвижности K, Ca, Fe (по полученным данным Mn, Al, гумуса). Степень изменения и даже его направленность являются характеристическими для конкретных почв. Это означает, что уровень антропогенной нагрузки для разных типов почв, элементов ландшафта

Таблица 3

Содержание водорастворимых соединений Ca, Mg, Fe, K (мг/л, почва : вода 1 : 2) в различных слоях структурных отдельностей дерново-подзолистых почв учхоза «Михайловское»

Слой структурных отдельностей	K	pH	Fe	Mg	Ca
Слабоокультуренная почва:					
внешняя часть	1,1	5,4	0,6	3,2	2,6
внутренняя часть	0,7	5,3	0,5	4,2	3,5
Хорошо окультуренная почва:					
внешняя часть	1,2	5,4	0,7	8,6	7,6
внутренняя часть	0,9	5,5	0,6	3,9	3,9

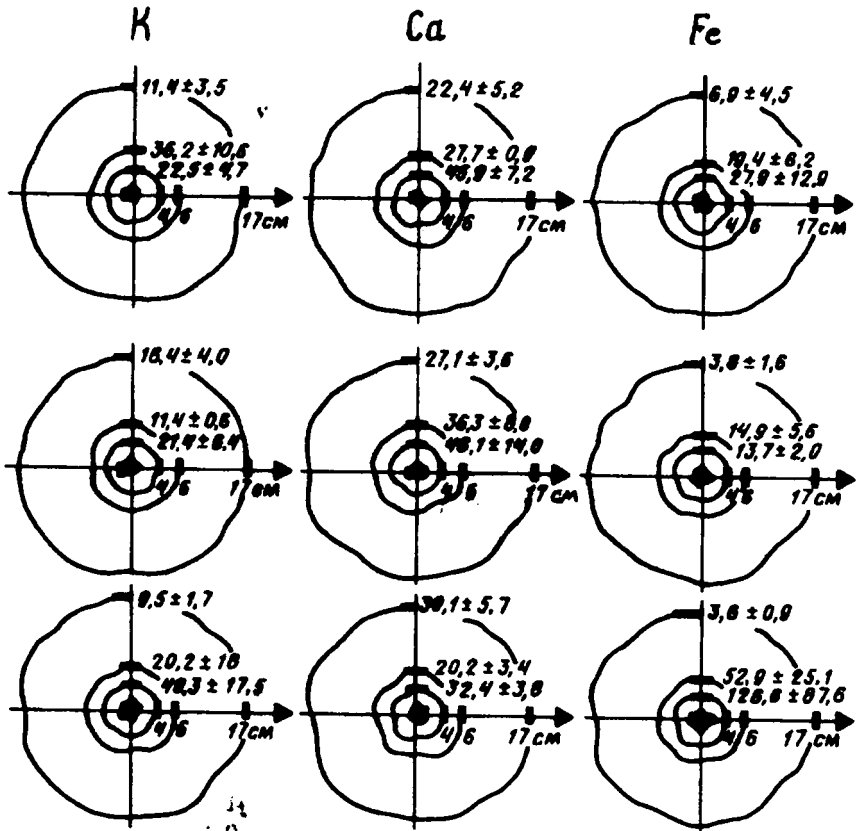


Рис. 3. Изменение содержания водорастворимых соединений катионов (мг/л) вблизи гранул аммиачной селитры в несмытой (вверху), эродированной (в середине) и намытой (внизу) дерново-подзолистой почве.

должен различаться. Повышение антропогенной нагрузки сопровождается не только изменением свойств почв, но и изменением химического и биохимического состава растений, их роста и развития.

По полученным нами данным, при этом изменялось и соотношение положительно и отрицательно заряженных соединений ионов в стеблях и корнях растений. Например, при дозе 200N соотношение $Ca^{+} : Ca^{-}$ в корнях изменилось от 12,0 до 23,1, в стеблях — соответственно от 5,9 до 13,0; $K^{+} : K^{-}$ в корнях — от 7,9 до 3,3, в стеблях — от 12,7 до 9,7. Аналогичные изменения произошли и при оценке доли других закомплексованных ионов ML^{-} , связанных с продуктами метаболизма (ML^{+} и ML^{-} положительно и отрицательно заряженные соединения катионов с величиной заряда n).

Оценку оптимумов свойств конкретных почв для определенных видов и сортов культур, предельно допустимых концентраций токсикантов для них перспективно оценивать с использованием принципа обратной связи — введение элемента питания, мелиоранта, токсиканта в суспензию почв — анализ ответной реакции растений, выращиваемых на этой почве. При этом ответная реакция растений идентифицируется по активности хлоропластов, активности фотосинтеза, содержанию положительно и отрицательно заряженных соединений, ионов, интенсивности дыхания [5, 6].

Выводы

1. Разработка моделей плодородия почв должна проводиться с учетом экологических ограничений по воз-

можному ухудшению качества сельскохозяйственной продукции, вод, приземного слоя воздуха, нарушению почвенных процессов и режимов, процессов саморазвития почв, трофических связей в экосистеме.

2. При разработке моделей плодородия необходимо учитывать взаимосвязь существующих в системе полей с характеристическими параметрами их кода, напряженностью, частотой, периодичностью, мощностью, градиентом между компонентами системы, конфигурацией поля и т.д.

3. При прогрессивном развитии экологическая система достигает характерного для каждой совокупности внешних и внутренних условий предела. Превышение уровня антропогенной нагрузки на один из компонентов системы, в том числе почву, приводит к нарушению взаимосвязей в системе, деградации одного или нескольких компонентов и в целом к уменьшению биопродуктивности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мотузова Г.В. Системно-экологический анализ соединений микроэлементов в почве. — Автореф. докт. дис. М.: МГУ, 1992.—
2. Панов Н.П., Наумова Л.М. Оптимальные параметры физико-химических и химических свойств дерново-подзолистых почв.— Изв. ТСХА, 1988, вып. 1, с. 68-73.—
3. Савич В.И., Трубицина Е.В. Способы устранения загрязнения почв.— Земледелие, 1990, № 2, с. 22-23.—
4. Савич В.И. Теоретические основы выбора оптимальных параметров плодородия.— Изв. ТСХА, 1990, вып. 6, с. 47-56.—
5. Савич В.И. Теоретические основы определения преде-

льно допустимых концентраций компонентов для экологической системы почва — растение — среда.— Докл. ВАСХНИЛ, 1991, № 1, с. 28-30.— **6. Савич В.И., Савич Л.В., Вишняков Ю.А.** Определение пре-

дельно допустимой концентрации свинца в почве по активности фотосинтеза. - Докл. АН России. Общ. биол., 1993, т. 333, № 1, с. 130-132.

*Статья поступила
19 апреля 1994 г.*

SUMMARY

It is proved in the paper that for optimizing agrophytocenoses it is necessary to estimate and optimize the system soil — plant — environment as its components are interconnected. The system is characterized by the whole complex of fields, all of them including concentration fields being characterized by a code — tensity, frequency, periodicity, time of action, power, gradient between components of the system, etc. Depression of the system is possible with unfavourable values even of one of the code parameters in any of those that exist in the field system, with the break of trophic interconnections. The concept of highest economic efficiency and ecological expediency of farming systems determine the model of soil fertility in accordance wuth intensification of production, type of crop rotation, flows of substance in the landscape. Ecological limitations in constructing the fertility model are due to possible pollution of waters, vegetation, air, to destruction of ozone layer, break of trophic interconnections and lower variety of ecological niches, disruption of self-development processes in soils, certain soil processes and regimes. Materials for soddy-podzolic soils that confirm theoretical statements are presented in the paper.