

УДК 63:54

АГРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ИНСТИТУТЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПОЧВОВЕДЕНИЯ РАН

Валерий Николаевич Кудеяров¹, Вячеслав Михайлович Семенов²

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН
142290, г. Пушкино, Московская обл., ул. Институтская, д. 2*

¹ – директор ИФХиБПП РАН, д.б.н., чл.-корр. РАН; e-mail: vnikolaevich2001@mail.ru

² – гл.н.с., д.б.н.; e-mail: v.m.semenov@mail.ru

Дан краткий обзор агрохимических исследований в Институте физико-химических и биологических проблем почвоведения, первоначально основанном членом-корреспондентом АН СССР Виктором Абрамовичем Ковдой в 1970 г. как Институт агрохимии и почвоведения АН СССР. Обсуждаются основные задачи нового направления исследований в институте – экологической агрохимии. Подчеркивается, что основная идея экологической агрохимии состоит не столько в природоохранном и безопасном применении средств химизации, сколько в гармонизации процессов, протекающих в почве и растениях, с разнообразными условиями в ландшафтах и законами экологии.

Ключевые слова: агрохимия, экологическая агрохимия, углерод, азот, фосфор, калий, удобрения.

«Зеленая революция» 50–60-х годов XX века, в основе которой было широкомасштабное применение агрохимикатов и появление новых технологий индустриального производства минеральных удобрений потребовали ускоренного обновления знаний о процессах круговорота минеральных элементов в системе почва–растение, способах оптимизации минерального питания и продукционного процесса растений с помощью удобрений, условиях наиболее эффективного применения минеральных удобрений. Это вызвало стремительное возрождение интереса к агрохимии как к науке, изучающей в соответствии с определением Д.Н. Прянишникова «круговорот веществ в земледелии и меры воздействия на химические процессы, протекающие в почвах и растениях, которые могут повышать урожай или изменять его состав». При увеличивающихся потребностях производства в научно обоснованных рекомендациях по применению удобрений в разных почвенно-климатических зонах СССР важно было не только сохранить фундаментальные направления агрохимии, но и наполнить их новым содержанием, отвечающим новым вызовам.

Зарождение и становление агрохимии в Пушкине. В 1970 г. Президиум АН СССР принял Постановление об организации в Пушкине Института агрохимии и почвоведения АН СССР. Организатором и первым директором Института стал член-корреспондент АН СССР В.А. Ковда. Для научного руководства исследованиями в области агрохимии был приглашен выдающийся ученый-агрохимик, член-корреспондент АН СССР А.В. Соколов. В составе Отдела агрохимических проблем Института были организованы три лаборатории:

- Баланса питательных веществ в земледелии (заведующий – профессор А.В. Петербургский);
- Питательного режима почв (заведующий – В.Н. Кудеяров);
- Миграции и метаболизма пестицидов (заведующий – М.С. Соколов).

В 1982 г. Институт агрохимии и почвоведения был объединен с Институтом фотосинтеза в Институт почвоведения и фотосинтеза АН СССР, а в 1999 г. был воссоздан как Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН.

В.А. Ковдой была разработана научная концепция Института – исследование почв и их функций в биосфере в связи с наступлением глобального экологического кризиса. Биосферно-экологический подход в исследовании проблем агрохимии и почвоведения отличал Институт от других учреждений страны и мира. Говоря о воздействии средств химизации сельского хозяйства на состояние биогеохимических циклов биофильных элементов, В.А. Ковда неоднократно подчеркивал возрастающую роль агрохимикатов не только как одного из важнейших факторов повышения производительности сельского хозяйства, но и как источника загрязнения окружающей среды при неправильном использовании удобрений и ксенобиотиков [1, 2].

Под руководством А.В. Петербургского были продолжены начатые ранее Д.Н. Прянишниковым исследования баланса питательных веществ в земледелии СССР, сформирован банк данных по расходу азота, фосфора и калия на синтез урожая и поступлению их в почву с минеральными и органическими удобрениями [3]. Было установлено, что увеличение объемов применения удобрений

способствовало систематическому по годам улучшению баланса всех трех питательных элементов, причем средний дефицит азота в конце 70-х годов XX века уже не превышал размеров, которые Д.Н. Прянишников считал не мешающими росту урожаев. Важное значение для перспектив химизации страны имел вывод о намечающемся положительном балансе фосфора и существенном дефиците калия.

В лаборатории питательного режима почв с использованием стабильного изотопа ^{15}N проведены масштабные исследования процессов трансформации органических и минеральных соединений азота в почвах, воздействия на эти процессы азота удобрений, регулирования процессов нитрификации и денитрификации в почве [4]. Изучена роль фиксированного аммония в азотном режиме почв. Впервые было обнаружено, что фиксированный аммоний имеет выраженную сезонную динамику, обусловленную, с одной стороны, процессами аммонификации в почве и внесением аммонийных удобрений, а с другой – процессами нитрификации, потреблением азота растениями и микроорганизмами. Сформулированы новые представления об иммобилизационно-минерализационных процессах азотного цикла в почвах, активной фазе почвенного азота. Применение ^{15}N позволило установить динамику новообразованной микробной биомассы в почве и сделать заключение о довольно высокой интенсивности внутрипочвенного круговорота азота. Так же с использованием метода ^{15}N показано, что внесение азотосодержащего удобрения смещает минерализационно-иммобилизационное равновесие в почве в сторону активации процесса минерализации активной фазы органического вещества, в результате чего накапливается дополнительное количество минерального азота почвенного происхождения («затравочный эффект» или «экстра-азот»), зависящее от доз и форм азотных удобрений. Данный результат позволил рассматривать проявление эффективности азотных удобрений как за счет прямого действия самого удобрения, так и косвенного – действия «экстра-азота». С образованием «экстра-азота» связано последствие азотных удобрений. Большинство из этих фундаментальных положений не потеряли актуальность и в настоящее время [5].

Особое внимание в Институте уделялось исследованию побочных эффектов применения минеральных удобрений для окружающей среды. Монография «Экологические проблемы применения минеральных удобрений» [6], в которой рассмотрено воздействие азотных, фосфорных и калийных удобрений на процессы круговорота питательных веществ и оценены последствия интенсивной химизации для окружающей среды, стала

первой в СССР, посвященной данной проблеме. Сопоставление объемов производства и применения удобрений с запасами биофильных элементов в природных средах показало, что вклад удобрений в приходные составляющие мирового баланса азота и фосфора уже сопоставим с природными источниками этих элементов, а биогеохимические циклы этих биофильных элементов трансформируются в агробиогеохимические [7]. Наибольшие изменения свойственны циклу азота в связи с опережающими темпами производства и применения азотных удобрений по сравнению с фосфорными и калийными [8]. Поскольку объемы поступления техногенного азота в геохимические ландшафты постоянно возрастают и затрагивают все компоненты его биогеохимического цикла, объектом исследований агрогеохимии является трансформация и миграция азота в системе почва – удобрение – растение – вода – атмосфера. Исследование различных видов агрогеохимического баланса азота позволило по-новому оценить причины возникновения и формы проявления отрицательных последствий применения азотных удобрений. Рассмотрены пути миграции и накопления нитратов в природных средах и в культивируемых растениях [9]. Доказано, что применение азотных удобрений – важная, но не единственная причина аккумуляции нитратов в растениеводческой продукции. Накопление нитратов растениями – многофакторное явление, возникающее на определенных стадиях их онтогенеза при интенсивном потреблении азота или низкой эффективности его усвоения в качестве ответной реакции растительного организма на изменение режима минерального питания и почвенно-экологических условий. В опытах с ^{15}N было установлено, что в составе нитратов, накопленных растениями, преобладает азот почвы, а соотношение $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ в нитратном фонде тесно коррелирует с соотношением $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ в общем его выносе. Разработана стратегия ограничения уровня нитратов в природных средах и продуктах питания, базирующаяся на принципах контроля содержания и регуляции их круговорота, включающих комплекс агрохимических, агротехнических, селекционно-генетических, технологических и санитарно-гигиенических мер и приемов.

Разработана теория регулирования мобилизационно-иммобилизационных превращений азота в почве и аммонийно-нитратного питания растений в почвенных условиях в течение онтогенеза за счет локализации аммонийных и амидных форм азотных удобрений или внесения с удобрениями ингибиторов нитрификации [4, 10]. С использованием в опытах меченных по ^{15}N удобрений, было доказано положительное влияние локализации азотных удобрений в почве на повышение коэффициента использования азо-

1. Основные эффекты, проявляющиеся при положительном и дефицитном балансе биофильных элементов

Положительный баланс	Дефицитный баланс
1. Загрязнение поверхностных и грунтовых вод, эвтрофикация водоемов. 2. Поступление NH_3 и NO_x в атмосферу и acidификация атмосферных осадков; 3. Унификация видового разнообразия микробных и растительных сообществ. 4. Накопление нитратов в растительной продукции, ухудшение биохимического качества продукции.	1. Дегумусирование и истощение запасов элементов минерального питания и уменьшение продуктивности культур. 2. Неполноценное биохимическое качество основной продукции. 3. Снижение устойчивости культур к неблагоприятным факторам окружающей среды. 4. Деградация физических, химических и биологических свойств почвы.

та удобрений растениями и одновременное сокращение размеров газообразных потерь азота. Как установлено, специфической особенностью азотного питания растений при пространственно-гетерогенном расположении азота в почве является интенсивное потребление азота из почвенных запасов **в течение периода вегетации**.

По результатам длительных стационарных опытов сформулированы эколого-агрохимические принципы сбалансированного применения удобрений с целью оптимизации минерального питания растений и повышения устойчивости продукционного процесса [11]. Вскрыт механизм формирования глубокопочвенного нитратного максимума в условиях длительного внесения высоких доз азотных удобрений на промерзающих почвах с периодически промывным водным режимом. Доказано, что наряду с нисходящей миграцией остаточного количества нитратов наблюдается и восходящее их передвижение в почвенной толще, вызываемое подтягиванием влаги и вымывшихся нитратов к фронту промерзания почвы. Возделывание многолетних злаковых трав в севообороте позволяет вовлечь в биологический круговорот азот нитратов, который ранее принято было считать потерянным для растений. Как следствие, при построении высокоэффективных и экологически сбалансированных систем минерального питания растений следует учитывать факт последствия не только фосфорных и калийных, но и азотных **удобрений**.

Серьезные успехи достигнуты в исследовании фосфатов в почве [12, 13]. Были выявлены особенности поведения орто- и полифосфатов удобрений в кислых почвах, обусловленные степенью выраженности комплексообразовательных процессов и инертностью образующихся комплексов **фосфатов** с ионами металлов. Конденсированные формы P_2O_5 в значительно большей степени, чем ортоформы, интенсифицировали в почве мобилизационные и миграционные процессы с вовлечением в них ионов кальция, магния, калия, железа, алюминия и углерода органического вещества. Выявлено образование высокомобильных отрицательно заряженных полифосфатных, а также органофос-

фатных комплексов преимущественно с железом, магнием и цинком. За счет таких комплексов потери фосфора из удобренной полифосфатами почвы были существенно выше, чем при удобрении ортофосфатами. Полученные результаты исследований позволили впервые объяснить факты падения плодородия почв при их зафосфачивании, эвтрофирования и загрязнения природных вод, снижения эффективности биогеохимических барьеров не только в цикле фосфора, но и сопряженных с ним циклах углерода и металлов.

Растущий авторитет Института в научном сообществе проявлялся не только в публикациях, но и в организации тематических конференций, посвященных круговороту и балансу азота в системе почва – удобрение – растение – вода, круговороту и балансу питательных веществ в земледелии, регулированию плодородия почв, круговорота и баланса питательных веществ в земледелии СССР, экологическим последствиям применения агрохимикатов, почвенно-агрохимическим и экологическим проблемам формирования высокопродуктивных агроценозов, экологическим проблемам накопления нитратов в окружающей среде [14–19]. Лауреатами премии имени Д.Н. Прянишникова стали В.Н. Кудеяров за цикл работ «Агрохимические и экологические аспекты исследования круговорота азота и применения азотных удобрений» (2005 г.) и В.И. Никитишен за цикл работ «Развитие эколого-агрохимических исследований в области воспроизводства плодородия почв, оптимизации минерального питания растений и сбалансированного применения удобрений» (2008 г.).

Агрохимия на рубеже XX и XXI веков. Девяностые годы XX столетия стали временем переосмысления стратегии и тактики применения удобрений. С одной стороны, стало очевидным, что физиолого-агрономические оптимумы удобрения сельскохозяйственных культур, соответствующие максимальному урожаю, как правило, выше экономически рентабельных доз, при которых прибавка урожая покрывает затраты на внесение удобрений. Минеральные удобрения в достигну-

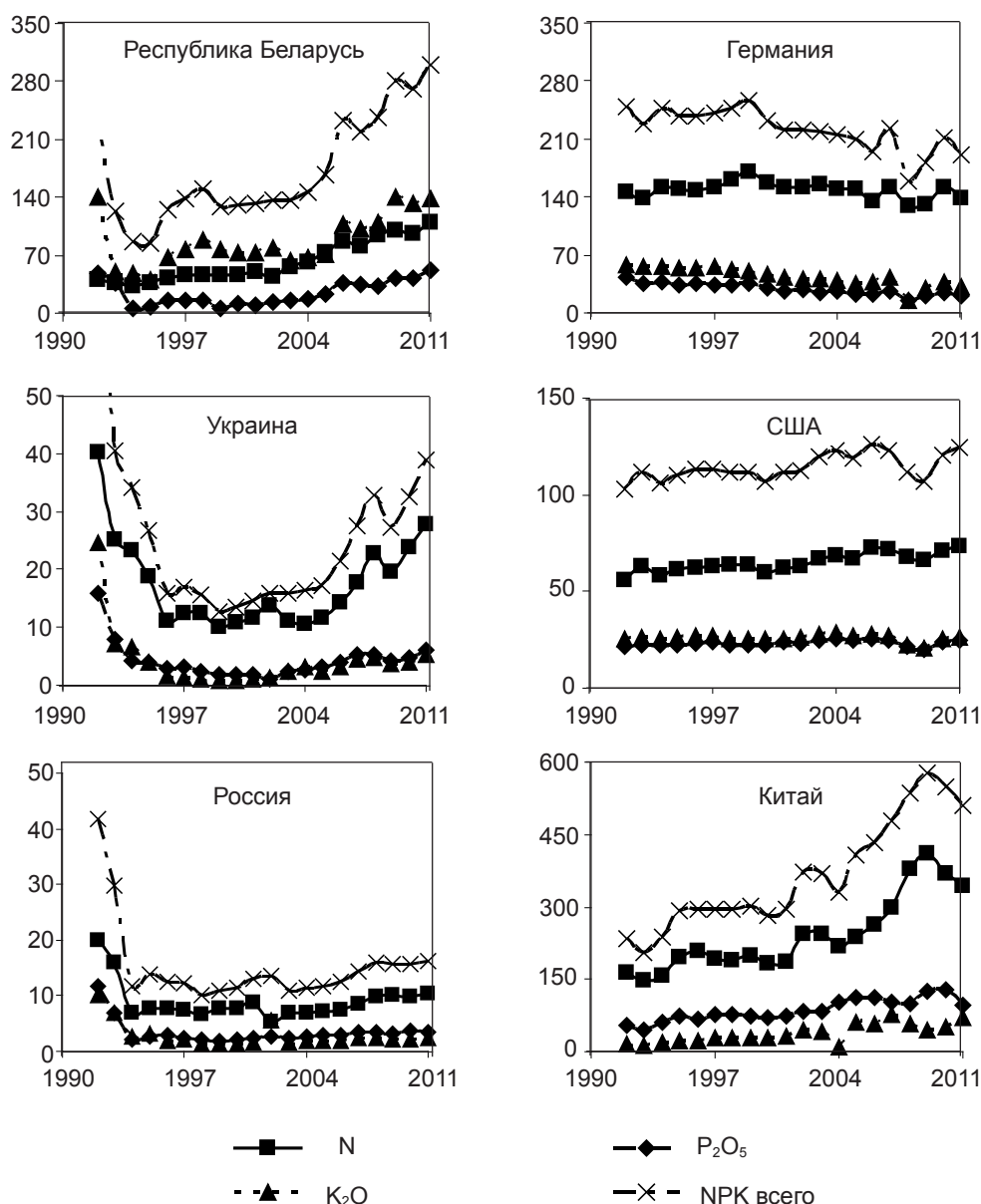


Рис. 1. Применение минеральных удобрений в земледелии некоторых стран за последние два десятилетия, в кг/га д.в.)???

тых объемах их применения являются мощным антропогенным фактором, нарушающим природные биогеохимические циклы элементов, свойства и функции почвы с негативными экологическими последствиями. Положительный баланс биофильных элементов в агроэкосистемах, создаваемый систематическим применением удобрений, – одна из основных предпосылок возникновения разного рода нарушений в агроэкосистемах и в биосфере в целом (табл. 1).

С другой стороны, в России произошло резкое уменьшение поставок удобрений и других агрохимических препаратов в агропромышленный сектор, что привело к резко дефицитному балансу элементов минерального питания в земледелии с угрозой усиления деградиционных процессов и

явлений. Состояние химизации земледелия в России в 90-х годах было определено как кризисное [20, 21]. Таковым оно остается и в **первое десятилетие нового века**. В 1992 г. на гектар пашни в Белоруссии, России и Украине приходилось 229, 42 и 81 кг действующего вещества минеральных удобрений с соотношением N:P₂O₅:K₂O 1:1,2:3,4, 1:0,6:0,5 и 1:0,4:0,6 соответственно (рис. 1). К середине 90-х годов применение минеральных удобрений в Республике Беларусь уменьшилась в 1,8–2,7 раза, в России – в 3,4–4,2 раза, а в Украине – в 4,7–5,1 раза. Осознание критического положения в агропромышленном комплексе в Республике Беларусь способствовало коренному улучшению обеспечения земледелия минеральными удобрениями в **первые десять лет XXI века**. Применение

2. Проблема азота и пути ее решения на разных этапах химизации земледелия

Этапы химизации	Стратегия	Ключевая парадигма	Основные средства и способы реализации
Экстенсивный	Получение максимального урожая	Создание высокой обеспеченности растений минеральным азотом при положительном балансе азота	Применение возрастающих доз минеральных удобрений, варьирование соотношениями N:P:K, обеспечение положительного баланса азота в агроценозе
Интенсивный	Получение экономически эффективного и экологически рационального урожая	Оптимизация азотного питания растений и повышение эффективности использования азота регулированием его внутрипочвенного цикла при оптимальном балансе азота	Применение технического азота в дозах ниже максимальных на основе учета запасов N _{мин} в почве, приемов и способов, обеспечивающих повышение коэффициента использования и сокращение его потерь
Пост-интенсивный	Устойчивое получение экономически и экологически оптимального урожая при сохранении качества среды и здоровья почвы	Гармонизация циклов углерода и азота в почве в рамках их природной стехиометрии и синхронизация продукции доступного азота с его потреблением растениями при оптимальном (экологически сбалансированном) балансе азота	Использование биологических и органических источников обогащения почвы азотом и внесение азота минеральных удобрений с обязательной его компенсацией углеродом свежего органического вещества

удобрений в Республике Беларусь в 2010–2011 гг. достигло 285 ± 21 кг/га (соотношение N:P₂O₅:K₂O 1:0,4:1,4), что выше, чем в Германии (202 ± 14 кг/га) и в США (123 ± 3 кг/га). Некоторое увеличение применения минеральных удобрений наметилось и в Украине, где средняя норма в 2010–2011 гг. составила 36 ± 4 кг/га (соотношение N:P₂O₅:K₂O 1:0,2:0,2). Самая неблагоприятная ситуация с использованием минеральных удобрений остается в Российской Федерации: на гектар пашни в 2010–2011 гг. вносилось в среднем $16 \pm 0,3$ кг действующего вещества (соотношение N:P₂O₅:K₂O 1:0,3:0,2).

Низкие нормы применения минеральных удобрений и, соответственно, недостаточная обеспеченность растений элементами питания сдерживают рост урожайности культур и лимитируют устойчивость продукционного процесса растений к неблагоприятным условиям окружающей среды. Это хорошо иллюстрируется значениями индекса устойчивости производства зерна, рассчитываемого по формуле:

$$\text{ИУП} = (X - S) / M,$$

где ИУП – индекс устойчивости производства, X – среднее за оцениваемый период, S – стандартное отклонение, M – максимальная величина за годы исследования.

Например, в Германии, США и Китае за период с 1992 по 2012 гг. величины ИУП составили 0,76, 0,74 и 0,73 соответственно, тогда как для Республики Беларусь, России и Украины оказались намного ниже: 0,54, 0,58 и 0,46 соответственно.

Таким образом, для аграрной науки и практики Республики Беларусь первоочередной задачей является обоснование, разработка и внедрение комплекса технологий и приемов, способствующих росту урожайности культур за счет увеличения эффективности минеральных удобрений. Для земледелия России и Украины главная цель состоит в незамедлительном восстановлении научно-обоснованных норм применения минеральных удобрений. Общей проблемой является воспроизводство естественного плодородия почвы, позволяющее уменьшить зависимость земледелия от погодных условий и конъюнктуры рынка минеральных удобрений, что является стратегической задачей и ключевой парадигмой постинтенсивного (устойчивого) типа сельскохозяйственного производства (табл. 2).

Экологическая агрохимия. Д.Н. Прянишников подчеркивал, что «нужно еще изучить свойства окружающей среды, чтобы знать, в каких отношениях она отвечает условиям наилучшего развития растений и в каких не отвечает». Развитием этой задачи стал учет экологических условий как фактора продукционного процесса и эффективности удобрений, что привело к включению в число учитываемых агрохимией условий климата и погоды [22]. Объектом исследований агрохимии стали микроорганизмы, участвующие в трансформации минеральных удобрений, а также вода и атмосфера, подвергающиеся загрязнению остатками удобрений и продуктами их превращения [14]. Возникла потребность в разработке новых научных

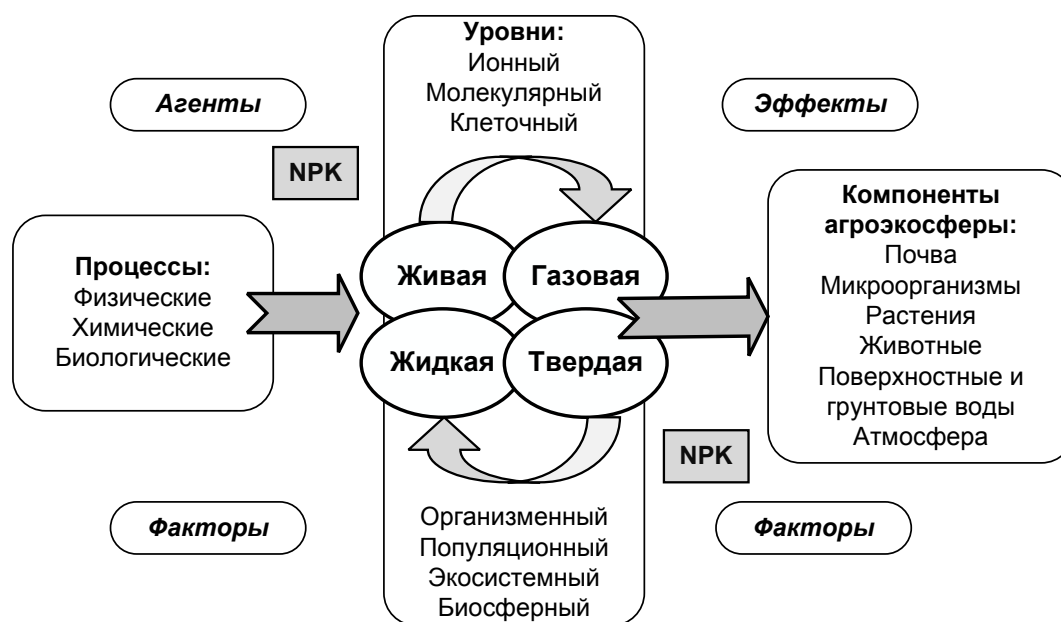


Рис. 2. Объекты исследований экологической агрохимии

принципов агрохимии, адекватных изменившимся социально-экономическим условиям, экологической обстановке, новым приоритетам и вызовам. Доминирующим стал «комплексный подход к изучению взаимодействия удобрений с почвой и растениями и оценке эффективности удобрений, а именно не только с точки зрения агрономической и экономической, но и с точки зрения экологической, т.е. с позиций воздействия их на окружающую среду в агроценозе, а также рассмотрения аспектов энергосбережения» [23]. На первый план стали выходить требования «биологизации» источников воспроизводства почвенного плодородия и «экологизации» применения минеральных и органических удобрений. Биолого-экологические принципы и задачи агрохимии стали воплощаться в новом ее направлении – «экологической агрохимии». Основной акцент экологической агрохимии направлен на [24]:

- поиск путей оптимизации биологического круговорота биогенных элементов в агроэкосистеме и регулирования их трансформации;
- совершенствование теории оптимизации питания и продуктивного использования элементов растениями как основы улучшения качества продукции и формирования физиологических барьеров на пути поступления тяжелых металлов и других загрязняющих веществ в растения и продукцию растениеводства;
- комплексные и междисциплинарные исследования влияния агрохимических средств на биологическую активность и микробное сообщество в почве;
- разработку теоретических основ создания высокопродуктивных и устойчивых культурных

агроландшафтов путем комплексного использования агрохимических средств;

- исследование механизмов поддержания здоровья и качества почвы и агроценозов агрохимическими средствами и приемами.

Целью экологической агрохимии является познание процессов функционирования агроэкосистем подходами и методами агрохимии, обеспечение агрохимическими способами плодородия почвы, сбалансированного циклирования веществ, стабильности продукционного процесса, его устойчивости к переменным условиям окружающей среды, получения безопасной растениеводческой продукции, сохранения биоразнообразия и экологии сопредельных сред. Экологическая агрохимия исследует междофазные переходы, агенты трансформации и эффекты взаимодействия химических элементов природных и искусственно синтезированных веществ с абиотическими и биотическими компонентами разных иерархических уровней агроэкосферы (рис. 2). Биогенная и абиогенная трансформация макро- и микроэлементов осуществляется в твердой, жидкой, газовой и живой фазах множеством химических, физических и биологических процессов, контролируемых внутренними и внешними, природными и антропогенными факторами. Азот и другие элементы питания мигрируют между природными пулами, включающими почву, микроорганизмы, растения, животных, атмосферу, поверхностные и грунтовые воды. Наномеханизмы обмена элементов ионно-молекулярного уровня сочетаются с разными эффектами регионального и глобального масштаба, проявляющимися на уровне экосистем и биосферы. Основные элементы корневого и воздушного

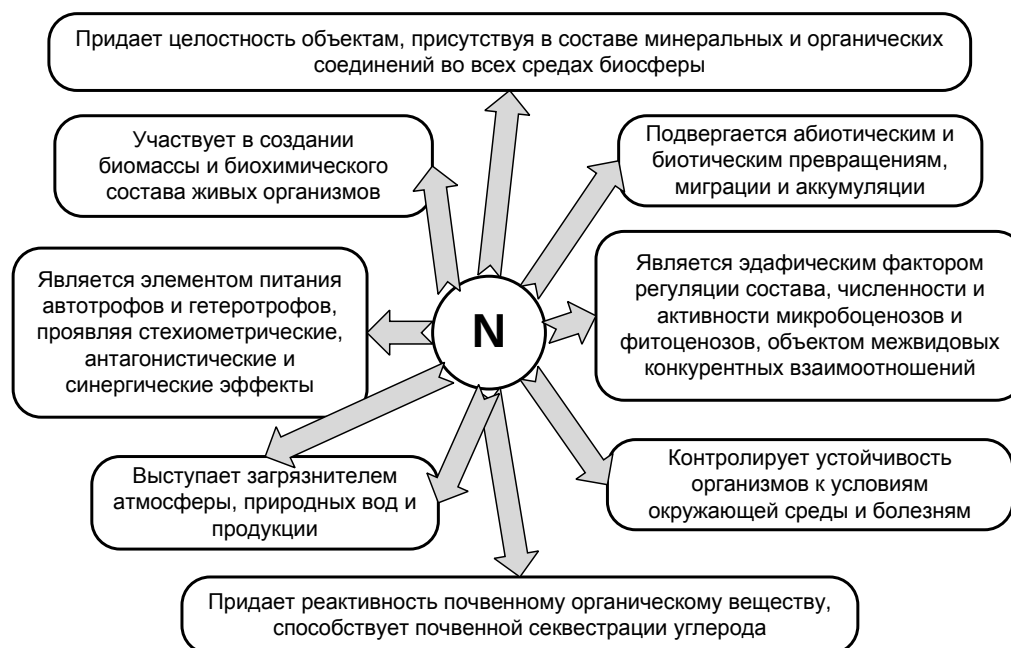


Рис. 3. Функции азота в окружающей среде

питания растений характеризуются полифункциональностью, биофильностью, реактивностью и другими качествами, как это видно на примере азота (рис. 3). Очевидно, что используя только традиционные методы агрохимии, нельзя установить механизмы их поведения в природных средах и обмена в растительно-микробных консорциумах. Поэтому в экологической агрохимии со многими классическими постулатами органично соседствуют новые концепции и подходы, вытекающие из достижений смежных наук, совершенствования инструментально-исследовательской базы.

Основная идея экологической агрохимии состоит не только и не столько в природоохранном и безопасном применении средств химизации, сколько в приведении процессов, протекающих в почве и растениях, в соответствие с разнообразными условиями ландшафтов и законами экологии. Объектами исследований экологической агрохимии являются как агроценозы, так и смежные с почвой компоненты экосферы, растительно-микробные ассоциации, физиологически активные соединения, загрязняющие вещества. Экологическая агрохимия акцентирует внимание на краткосрочных и долговременных последствиях удобрительных нагрузок, оценке рисков применения агрохимикатов и прогнозировании прямых и косвенных эффектов. Агрохимия восприимчива к математической формализации и интерпретации и, следовательно, может и должна трансформироваться из описательной науки в науку алгоритмов и моделей с возможностью экстраполяции и интерполяции точечной информации.

Таким образом, цель, ключевые задачи и приоритетные направления современной агрохимии

шире, глубже, сложнее и фундаментальнее, чем решение прикладных вопросов земледелия. Как справедливо замечено, «судьба агрохимии как науки, как теоретической основы химизации земледелия будет полностью зависеть от того, удастся вернуть ее к изучению теоретических проблем химизации или она все в большей степени будет продолжать опускаться до уровня прикладной науки, до уровня простого «учения об удобрении» [25].

Перспективы исследований в области экологической агрохимии. Текущее столетие – это проблемы глобальных изменений природной среды и климата, дефицита продовольствия и энергии, утраты биоразнообразия и устойчивости экосистем, дефорестизации и деградации почв. В этом же ряду стоит проблема изменения химии атмосферы Земли из-за роста концентраций «парниковых» газов, тесно связанная с дегумусированием почв и разбалансированием биогеохимических циклов углерода и азота. Научное объяснение причин этих проблем и выработка стратегий смягчения последствий их проявления – одна из ключевых задач экологической агрохимии. К числу приоритетных и требующих широких междисциплинарных исследований, относятся следующие задачи:

- обеспечение объемов производства растениеводческой продукции, достаточных для поддержания продовольственной безопасности страны и обеспечения населения полноценным и безопасным питанием;

- поддержание стабильности и устойчивости продукционного процесса в условиях глобальных изменений природной среды и климата;

- уменьшение объемов почвенной и агрогенной эмиссии парниковых газов в атмосферу;

– предотвращение загрязнения воздуха, воды и продуктов питания опасными для здоровья людей и животных веществами;

– повышение углеродсеквестрирующего потенциала агроэкосистем;

– сохранение биогеоценотических и агропроизводственных функций почвы;

– поиск новых, местных и альтернативных минеральным удобрениям источников обеспечения растений элементами питания и воспроизводства плодородия почвы.

Из перечисленных задач вытекает, что проблема углерода становится наиболее острой в текущем столетии. Как известно, углерод является основным элементом воздушного питания растений, входит в состав почвенного органического вещества – природного источника снабжения растений элементами минерального питания, контролирует процессы азотфиксации, денитрификации, минерализации и иммобилизации азота, служит источником энергии и питания микроорганизмов, чувствителен к воздействию минеральных удобрений, а его потери из почвы компенсируются применением органических удобрений. Показано, что для оптимизации азотного питания растений и снижения потерь минерального азота в почве должно поддерживаться определенное отношение между минеральным азотом ($N_{\text{мин}}$) и доступным органическим углеродом ($C_{\text{орг}}$). Для серых лесных почв это отношение должно быть на уровне 30–40 [26]. Однако, в отличие от исследований процессов круговорота и оценки баланса азота, фосфора, калия, отчасти серы и микроэлементов, агрохимия лишь косвенно касалась проблемы углерода. Очевидно, что агрохимия углерода должна стать новым направлением экологической агрохимии.

Эколого-агрохимическая проблематика продолжает занимать важное место в программе фундаментальных исследований Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН. Исследуется сорбция фосфат-анионов на алюминий(железо)-содержащих природных сорбентах кислой почвы и механизмов деструкции фосфатированных минеральных и гумусово-минеральных сорбентов, контролирующей эффективность сорбционных барьеров в кислых зафосфаченных почвах [27, 28]. Изучаются основные этапы трансформации азота растительных остатков в почве и устанавливаются размеры распределения минерализованного азота между минеральным и микробным пулами в зависимости от соотношения C/N в разлагаемом материале [29, 30]. Изучаются разные эффекты взаимодействия азота с макро- и микроэлементами на основе анализа сбалансированности минерального питания растений и интенсивности круговорота веществ в агроэкосистемах [31]. Исследуются разные аспекты

структурно-функционального состояния органического вещества почвы при разных системах применения удобрений и особенности обмена парниковых газов в системе почва – удобрение – атмосфера [32–35].

Заключение. Агрохимия сыграла важную роль в интенсификации и экологизации отечественного земледелия. Ее востребованность сохранится и в будущем. Наряду с традиционными функциями агрохимии – формированием научной теории сбалансированного и гармоничного круговорота биофильных элементов и разработкой практических рекомендаций по оптимизации минерального питания и продукционного процесса растений за счет эффективного и рационального применения удобрений предстоит усилить прогностическую, образовательную и просветительскую функции.

Литература:

1. Комплексное изучение ресурсов биосферы и химизация сельского хозяйства. – Пушкино: ОНТИ НЦБИ, 1972. – 184 с.
2. Почвенные процессы: проблемы и методы. – Пушкино: ОНТИ НЦБИ, 1973. – 151 с.
3. Петербургский А.В. Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии. – М.: Наука, 1979. – 168 с.
4. Кудеяров В.Н. Цикл азота в почве и эффективность азотных удобрений. – М.: Наука, 1989. – 216 с.
5. Семенов В.М. Современные проблемы и перспективы агрохимии азота // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. – № 1. – С. 55–63.
6. Кудеяров В.Н., Башкин В.Н., Кудеярова А.Ю., Бочкарев А.Н. Экологические проблемы применения удобрений. – М.: Наука, 1984. – 213 с.
7. Ковда В.А. Биогеохимические циклы в биосфере: Материалы VII Пленума СКОПЕ. – М.: Наука, 1976. – С. 19–85.
8. Башкин В.Н. Агрогеохимия азота. – Пушкино: ОНТИ НЦБИ, 1987. – 270 с.
9. Соколов О.А., Семенов В.М., Агаев В.А. Нитраты в окружающей среде. – Пушкино: ОНТИ НЦБИ, 1990. – 316 с.
10. Соколов О.А., Семенов В.М. Теория и практика рационального применения азотных удобрений. – М.: Наука, 1992. – 207 с.
11. Никитишин В.И. Агрохимические основы эффективного применения удобрений в интенсивном земледелии. – М.: Наука, 1984. – 214 с.
12. Кудеярова А.Ю. Педогеохимия орто- и полифосфатов в условиях применения удобрений. – М.: Наука, 1993. – 240 с.
13. Кудеярова А.Ю. Фосфатогенная трансформация почв. – М.: Наука, 1994. – 288 с.
14. Круговорот и баланс азота в системе почва – удобрение – растение – вода. – М.: Наука, 1979. – 334 с.
15. Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии. Пушкино: ОНТИ НЦБИ, 1979. – 187 с.
16. Регулирование плодородия почв, круговорота и баланса питательных веществ в земледелии СССР. – Пушкино: ОНТИ НЦБИ, 1981. – 203 с.

17. Экологические последствия применения агрохимикатов (удобрения). – Пушино: ОНТИ НЦБИ, 1982. – 184 с.
18. Почвенно-агрохимические и экологические проблемы формирования высокопродуктивных агроценозов. – Пушино: ОНТИ НЦБИ, 1988. – 248 с.
19. Экологические проблемы накопления нитратов в окружающей среде. – Пушино: ОНТИ НЦБИ, 1989. – 152 с.
20. Минеев В.Г., Бычкова Л.А. Состояние и перспективы применения минеральных удобрений в мировом и отечественном земледелии // Агрохимия. – 2003. – № 8. – С. 5–12.
21. Кудеяров В.Н., Семенов В.М. Оценка современного вклада удобрений в агрогеохимический цикл азота, фосфора и калия // Почвоведение. – 2004. – № 12. – С. 1440–1446.
22. Панников В.Д., Минеев В.Г. Почва, климат, удобрение и урожай. – М.: Агропромиздат, 1987. – 512 с.
23. Кореньков Д.А. Агрохимия – важное направление научно-технического прогресса в земледелии // Агрохимия. – 1993. – № 2. – С. 3–6.
24. Минеев В.Г. Экологические функции агрохимии в современном земледелии // Агрохимия. – 2000. – № 5. – С. 5–13.
25. Ладонин В.Ф. Определение агрохимии как науки, ее задачи и место среди других наук // Агрохимия. – 1993. – № 2. – С. 7–10.
26. Кудеяров В.Н. Азотно-углеродный баланс в почве // Почвоведение. – 1999. – № 1. – С. 73–82.
27. Кудеярова А.Ю. Хемосорбция фосфат-ионов и деградация органо-минеральных сорбентов в кислых почвах // Почвоведение. – 2010. – № 6. – С. 681–697.
28. Кудеярова А.Ю. Влияние орто- и пирофосфатов на трансформацию железогумусовых сорбентов и их способность связывать калий и цинк // Агрохимия. – 2005. – № 6. – С. 66–75.
29. Кузнецова Т.В., Семенов А.В., Ходжаева А.К., Иванникова Л.А., Семенов В.М. Накопление азота в микробной биомассе серой лесной почвы при разложении растительных остатков // Агрохимия. – 2003. – № 10. – С. 3–12.
30. Кузнецова Т.В., Ходжаева А.К., Семенова Н.А., Иванникова Л.А., Семенов В.М. Минерализационно-иммобилизационная оборачиваемость азота в почве при разной обеспеченности разлагаемым органическим веществом // Агрохимия. – 2006. – № 6. – С. 5–12.
31. Никитишнев В.И. Питание растений и удобрение агроэкосистем в условиях ополей Центральной России. – М.: Наука, 2012. – 485 с.
32. Семенов В.М., Тулина А.С. Сравнительная характеристика минерализуемого пула органического вещества в почвах природных и сельскохозяйственных экосистем // Агрохимия. – 2011. – № 12. – С. 53–63.
33. Семенов В.М., Когут Б.М., Лукин С.М., Шарков И.Н., Русакова И.В., Тулина А.С., Лазарев В.И. Оценка обеспеченности почв активным органическим веществом по результатам длительных полевых опытов // Агрохимия. – 2013. – № 3. – С. 19–31.
34. Семенов В.М., Кузнецова Т.В., Ходжаева А.К., Семенова Н.А., Кудеяров В.Н. Почвенная эмиссия закиси азота: влияние природных и агрогенных факторов // Агрохимия. – 2004. – № 1. – С. 30–39.
35. Семенов А.В., Кузнецова Т.В., Степанов А.Л., Семенов В.М. Влияние азотного удобрения и растительных остатков на поведение метана в серой лесной почве // Агрохимия. – 2004. – № 4. – С. 5–12.

Kudeyarov V. N., Semenov V.M.

AGROCHEMICAL RESEARCHES IN THE INSTITUTE OF PHYSICOCHEMICAL AND BIOLOGICAL PROBLEMS OF SOIL SCIENCE OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

A brief overview of the agrochemical researches in the Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science of Russian Academy Sciences, constituted by corresponding member of the Academy of Sciences of the USSR Viktor Abramovich Kovda in 1970 as the Institute of Agrochemistry and Soil Science of the Academy of Sciences of the USSR is presented. The main tasks of the environmental agrochemistry as a new scientific concept are discussed. It is emphasized that the basic idea of Environmental Agrochemistry consists rather in the harmonization of processes in the soil and plants with a variety of conditions in the landscapes and the laws of ecology than in the environmental and safe use of agrochemicals.

Keywords: agrochemistry, environmental agrochemistry, carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, fertilizers.