

УДК 631.48

РОЛЬ НЕКОТОРЫХ ЗВЕНЬЕВ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ КРУГОВОРОТОВ В ВОСПРОИЗВОДСТВЕ ПЛОДРОДИЯ ПАХОТНЫХ ПОЧВ

А. Д. ФОКИН

(Кафедра применения изотопов и радиации в сельском хозяйстве)

Значительное место в научном творчестве В. Р. Вильямса занимает представление о важной роли циклических процессов трансформации и перемещения веществ в образовании и функционировании почв [1]. По Вильямсу, формирование важнейшего свойства почвы — плодородия — также неразрывно связано с отдельными звеньями биогеохимических круговоротов, прежде всего углерода и элементов минерального питания. Образование разных почв сопровождается формированием определенных относительно устойчивых сообществ организмов (растительных формаций, по В. Р. Вильямсу) и систем трофических связей между ними, которые входят как составная часть в биогеохимические круговороты элементов в биосфере.

Таким образом, формирование почвенного плодородия и его воспроизводство в естественных экосистемах обусловлены наличием циклических процессов, происходящих в биогеохимических круговоротах. В связи с этим знание закономерностей развития и функционирования биогеохимических круговоротов в естественных экосистемах может оказаться полезным при разработке технологических приемов, направленных на повышение и воспроизводство плодородия пахотных почв.

Анализ достижений и неудач в сельскохозяйственном использовании почв подтверждает, на наш взгляд, мысль, вытекающую из работ В. Р. Вильямса, что успех сельскохозяйственных технологий существенно зависит от того, насколько они «вписываются» в систему природных процессов и закономерностей.

В настоящем сообщении приводятся результаты сравнения некоторых особенностей биогеохимических круговоротов в естественных ценозах и агроэкосистемах и на основании этого сравнения обсуждаются возможности оптимизации условий питания сельскохозяйственных растений и повышения санитарно-защитных функций агроэкосистем.

Рассмотрим биогеохимический круговорот фосфора в лесной экосистеме на дерново-подзолистой глееватой почве и агроэкосистеме на аналогичной почве (рис. 1). Для лесной экосистемы приведены конкретные размеры потоков фосфора, полученные в исследованиях на стационаре «Белый Раст» Московской области. Для агроэкосистемы даны обобщенные показатели, поскольку очень велико варьирование величин потоков, зависящих от продуктивности агроэкосистем, уровня окультуренности почвы и применения фосфорных удобрений. В рассматриваемой агроэкосистеме имеет место высокий уровень продуктивности и применения минеральных удобрений, вследствие этого в круговорот вовлекается фосфора больше, чем в природной экосистеме. Однако это не является общим правилом. Известно немало случаев снижения масштабности биогеохимических круговоротов при переходе от природных экосистем к сельскохозяйственным.

Сравнение круговоротов фосфора позволяет отметить следующие особенности.

В природной «зрелой» экосистеме цикл фосфора почти замкнут, т. е. его поступление с опадом практически равно биологическому поглощению растениями, что косвенно свидетельствует о высокой степени использования элемента из растительных остатков. Замкнутость цикла обусловлена также наличием биологических барьеров из зеленых и сфагновых мхов, препятствующих выносу дефицитного элемента питания водами поверхностного стока за пределы экосистемы [4].

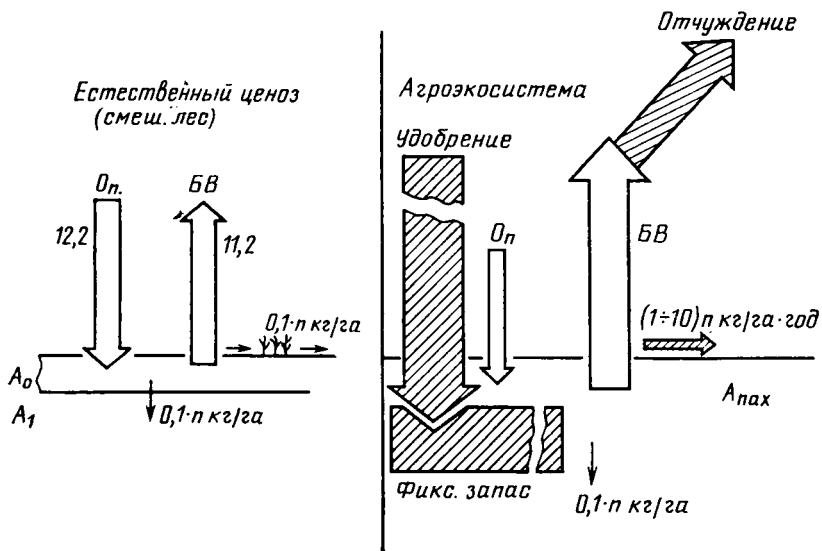


Рис. 1. Биогеохимический круговорот фосфора в лесной и сельскохозяйственной экосистемах на дерново-подзолистой почве. Заштриховано — специфические звенья для агроэкоэкастэмы. Цифрами обозначена величина потоков в кг P_2O_5 /га·год.

O_n — опад, B_b — биологический вынос.

Таким образом, рассматриваемая природная экосистема функционирует по принципу «безотходного производства» с минимальными нерациональными затратами фосфора.

Для круговорота фосфора в агроценозе по сравнению с природной экосистемой характерна менее выраженная замкнутость цикла, что обусловлено несбалансированностью поступления и выноса фосфора, образованием запасов нерастворимых соединений при взаимодействии минеральных фосфатов удобрений с почвой; все это приводит к низкому использованию фосфора из удобрений. Кроме того, в агроэкоэкастэмах существенно больше вынос фосфора с водами поверхностного стока, особенно при развитии эрозии, из-за отсутствия системы биологических барьеров.

Таким образом, природные экосистемы по организации в них трофических связей и по многим другим критериям функционирования значительно превосходят агроэкоэкастэмы, созданные и регулируемые человеком.

В связи с изложенным возникает вопрос, могут ли в агроэкоэкастэмах реализоваться отдельные принципы рациональной организации природных экосистем, в частности, возможно ли высокое использование фосфора из растительных остатков в агроэкоэкастэмах и какова природа этого явления. Изучение поглощения меченых фосфатов из минеральных удобрений и растительных остатков различными культурами свидетельствует о преимуществе последних. В качестве примера на рис. 2 [5] показана динамика поступления фосфора в растения озимой пшеницы (идет по пласту многолетних трав) из корневых растительных остатков предшествующей культуры и минеральных удобрений. Причина наблюдаемого эффекта, как выяснилось из последующих наблюдений, заключается в повышенной локализации активных корней в очагах, обогащенных растительными остатками, что связано, очевидно, с наличием в них полного набора элементов минерального питания, а также более благоприятными физическими свойствами и повышенной биологической активностью.

Более высокие коэффициенты использования элементов из растительных остатков по сравнению с минеральными соединениями получены также для Ca и Zn [3].

Приведенные примеры свидетельствуют о целесообразности создания по возможности благоприятных условий для тех культур в севообороте, которые оставляют наибольшее количество пожнивно-корневых остатков, т. е. для многолетних трав. Однако при существующей практике нередко главное внимание уделяется удобрению пропашных и зерновых культур, а многолетние травы оставляются без внимания. Между тем опыты показывают, что внесение под травы невысоких и средних доз минеральных удобрений ($30N30P_2O_540K_2O$ под травы 2-го года) даже за счет незначительного снижения их под последующие

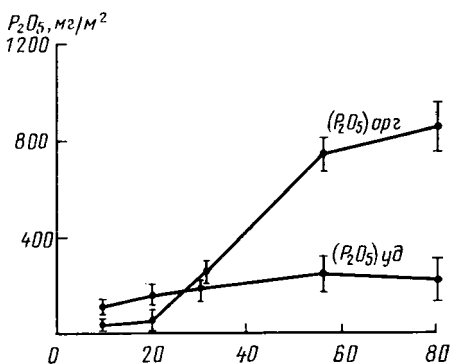


Рис. 2. Поступление фосфора в растения озимой пшеницы из растительных остатков $(P_2O_5)_{орг}$ и минеральных удобрений $(P_2O_5)_{уд}$.

зерновые и пропашные культуры увеличивает не только урожай трав и поступление в почву пожнивно-корневых остатков, но и урожай последующих культур, идущих по пласту и обороту пласта многолетних трав. Одна из причин эффективности такого приема — повышение коэффициентов использования минеральных удобрений за счет увеличения кратности использования элемента, удержания его в течение длительного времени в доступной для биологического поглощения форме, подобно тому, как это происходит в природных экосистемах. Кроме того, при удобрении трав и снижении доз удобрений под последующие культуры почва обогащается органическими остатками,

повышается ее биологическая активность и вследствие этого увеличивается способность почвы к детоксикации загрязнителей. Удобрения, внесенные под травы, в минимальной степени вымываются из корнеобитаемого слоя почвы благодаря мощному развитию корневых систем и снижению эрозийных процессов. И наконец, идущие по сильному пласту многолетних трав зерновые культуры в меньшей степени нуждаются в азотных удобрениях, что благоприятно сказывается на снижении их полеглости.

Расчеты, основанные на опытных данных, показывают, что в полевых севооборотах с многолетними травами на дерново-подзолистых почвах за счет целенаправленного использования минеральных удобрений и агротехники поступление в почву пожнивно-корневых остатков может быть доведено приблизительно до 25 т сухого вещества на 1 га за ротацию, что эквивалентно 100—120 т навоза на 1 га. Представляется, что поиск в данном направлении может дать существенный эффект в повышении биопродуктивности и плодородия почв.

Очень важная функция, выполняемая при обязательном участии органического вещества, которой, однако, не уделяя должного внимания в агроэкосистемах, состоит в микробиологической мобилизации элементов минерального питания из труднодоступных форм за счет энергии, освобождающейся при минерализации органического вещества. Источники элементов могут быть самые разные: азот воздуха, негидролизующие формы почвенного азота, элементы, входящие в состав почвенных минералов. Проиллюстрируем это примерами.

Известно, что несимбиотическая фиксация азота из воздуха осуществляется почвенными микроорганизмами и зависит от наличия в почве разлагаемых форм органического вещества [2].

В наших опытах при разложении в низкогумусированном черноземе крахмала, т. е. органического вещества, не содержащего элементов минерального питания, при оптимальных условиях компостирования содержание гидролизующего азота приблизительно удвоилось (рис. 3). При этом наблюдалось ускорение минерализации внесенного

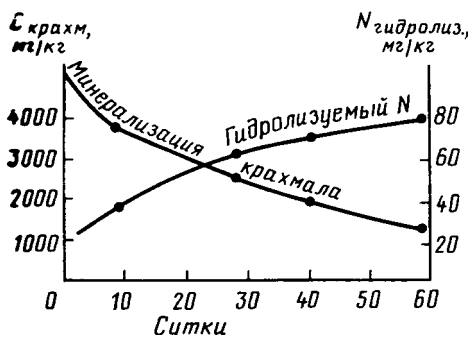


Рис. 3. Трансформация почвенного органического азота при разложении крахмала в черноземной почве (лабораторный опыт).

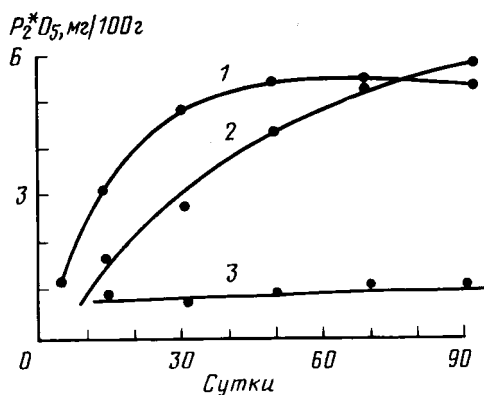


Рис. 4. Мобилизация фосфора из труднодоступных форм под влиянием разложения органических веществ.

1 — крахмал, 2 — солома, 3 — контроль.
Условия опыта: 1 кг почвы + 10 г органического вещества + 0,5 г $\text{Ca}_3(\text{P}^* \text{O}_4)_2$; определение в 1 н. NH_4Cl вытяжке после 2-кратной обработки H_2O_2

в почву меченного ^{14}C урацила, что дает основание предполагать вовлечение в подвижные формы азота из состава гетероциклических компонентов почвенного гумуса. (Внесенная в опыте доза азота с меченым урацилом приблизительно на два порядка ниже уровня увеличения содержания гидролизующего азота).

Изучение в лабораторных условиях кинетики разложения различных органических материалов показало, что в зернопаровых севооборотах, распространенных на юго-востоке страны, целесообразна проверка возможности активизации инертных форм почвенного азота путем внесения повышенных доз соломы в паровое поле. Полученные данные позволяют предположить, что разложение соломы в паровом поле обеспечит к концу парования приближение соотношения $\text{C} : \text{N}$ к благоприятному уровню. Цель такого приема состоит прежде всего в переводе инертного гетероциклического азота в азот аминогрупп, в новообразовании и активизации гумусовых веществ, активно участвующих в формировании благоприятной почвенной структуры. При этом питание растений азотом в условиях дефицита гумусовых веществ в значительной степени может обеспечиваться за счет минеральных удобрений.

В опытах с использованием труднорастворимых трехзамещенных фосфатов кальция, меченных по фосфору или кальцию, было показано, что мобилизация фосфатов не только идет под влиянием почвенной кислотности, как это принято считать, но существенно ускоряется, если в почве разлагается органическое вещество (рис. 4).

Полученные результаты дают основание для проверки возможности мобилизации фосфатов из зафосфаченных почв, например орошаемых сероземов, путем внесения органических материалов. Учитывая высокую биологическую активность в сероземах и исключительные условия для разложения органических веществ при орошении и высоких температурах, в данной зоне эффективным может оказаться слабо разлагаемое органическое вещество, например различные виды лигнина, отходы гидролизной промышленности и пр.

При разложении органических веществ, по всей вероятности происходит мобилизация любых дефицитных элементов минерального питания из различных почвенных минералов. Эти процессы, по-видимому, были ярко выражены на начальных стадиях почвообразования, когда функции высших растений и почвенных микроорганизмов были разделены таким образом, что первые обеспечивали экосистему доступным энергетическим материалом, а вторые создавали обменный и запасной фонд элементов минерального питания. В зрелых почвах,

где сформированы запасы питательных элементов, «разделение труда» между этими группами организмов приняло несколько иной характер.

Результаты исследования в данном направлении свидетельствуют о возможности восстановления плодородия почв естественным путем с участием механизмов, характерных для природных экосистем, за счет внесения не минеральных удобрений, а «минерального сырья», а также органических веществ, разлагаемых и гумифицирующихся в данных условиях, и активизации микробиологической деятельности.

Вполне возможно, что при соответствующей агротехнике и обеспеченности агроэкосистем органическим материалом данный способ может удовлетворять самые высокие требования интенсивного и высокопродуктивного земледелия.

Такой путь может дать и определенные экологические преимущества, заключающиеся в снижении уровня внесения минеральных удобрений, в создании сбалансированных запасов элементов минерального питания, поскольку биологическая мобилизация предполагает вовлечение всех необходимых для биоты элементов питания в нужном соотношении, в подавлении патогенной микрофлоры за счет активизации деятельности полезных микроорганизмов, что позволит снизить пестицидные нагрузки на агроэкосистемы. При этом в ряде случаев, особенно в условиях орошаемого земледелия, могут быть использованы многотоннажные органические и минеральные отходы, что поможет хотя бы частично решить серьезную экологическую проблему утилизации отходов.

Однако реализация на практике имеющихся принципиальных возможностей, безусловно, требует комплексных экспериментальных исследований, сочетающих биогеохимические и экологические подходы с методами почвенной биотехнологии. Научно-методический уровень этих исследований должен обеспечить понимание механизмов происходящих процессов и путей управления ими, а также прогноз биопродуктивности и экологического состояния агроэкосистем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вильямс В. Р. Почвоведение. Земледелие с основами почвоведения. М.; Л.: Сельхозгиз, 1939. — 2. Емцев В. Т., Ницэ Л. К., Покровский Н. П. Несимбиотическая азотфиксация и закономерности ее функционирования в почве. — В кн.: Минеральный и биологический азот в земледелии СССР. — М.: Наука, 1985, с. 213—221. — 3. Мишина И. Ю. Растительные остатки как фактор плодородия дерново-подзолистых почв. Автореф. канд. дис. — М., ТСХА, 1984. — 4. Фокин А. Д.,

Черникова И. Л., Ибрагимов К. Ш., Сюняев Х. Х. Роль растительных остатков в обеспечении растений зольными элементами на подзолистых почвах. — Почвоведение, 1979, № 6, с. 53—61. — 5. Фокин А. Д., Черникова И. Л., Черняков Н. Е. Использование фосфора из растительных остатков и минеральных удобрений в некоторых звеньях севооборота на дерново-подзолистых почвах. — Изв. ТСХА, 1980, вып. 3, с. 69—75.

SUMMARY

The possibilities to optimize conditions for mineral nutrition of agricultural plants and to improve sanitary and protective functions of agroecosystems are discussed on the base of comparing biogeochemical phosphorus circulations in forest and agricultural ecosystems.