

УДК 551.582

ГЕОХИМИЯ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА ПОД ТРАВСТОЕМ КОЗЛЯТНИКА ВОСТОЧНОГО В РАЗЛИЧНЫХ АГРОЛАНДШАФТАХ

А.Д. Иванов¹, В.П.Сутягин², В.А. Тюлин²

¹ Всероссийский НИИ мелиорированных земель (ВНИИМЗ)
г. Тверь

² ФГБОУ ВПО Тверская ГСХА. г. Тверь

Исследования проводили на агроэкологическом полигоне ВНИИМЗ в плантации *Galéga orientalis* в течение 15 лет. Было установлено, что содержание подвижных соединений фосфора под травостоем козлятника восточного снизилось на всех элементах конечного-моренного холма: на южном склоне на 52 %, северном склоне – 44 %, вершине - 33 %. При этом продуктивность пашни за 15 лет использования повысилась на всех элементах рельефа на 10 – 15 %, масса пожнивно-корневых остатков – на 20 – 30 %. Архитектоника посевов козлятника на вершине создала более благоприятные условия для течения процесса фотосинтеза.

Ключевые слова: агроландшафтный стационар, экспозиция склона, конечно моренный холм, козлятник восточный, подвижные соединения фосфора, пожнивно-корневые остатки.

В последние годы в силу определенных экономических причин количество внесения фосфорсодержащих материалов и других удобрительных средств резко сократилось, что обусловило предпосылки для развития деградационных процессов. Скорости их протекания зависят как от природных особенностей почвы, так и от агротехногенной деятельности [4].

Оценить указанные скоростные характеристики негативных процессов и выявить степень их опасности, а также осуществить прогноз развития ситуации в будущем можно, лишь проанализировав динамику агрохимических показателей [11], в том числе содержание подвижных фосфатов, на длительном временном интервале.

Содержание фосфора и распределение его соединений в почвах связаны с генезисом почвообразующих пород, различной интенсивностью проявления почвообразовательных процессов, а также с преобразованием современных почв под влиянием различных факторов, в том числе и антропогенных. Главным источником соединений фосфора для почв служат почвообразующие породы. По мнению М.А. Корзун и др. [17], содержание подвижного фосфора в почве связано с подстилающими породами. В процессах выветривания фосфор материнской породы вовлекается в биологический круговорот, при этом образуются его новые вторичные соединения – органические и минеральные, которые постоянно находятся в процессе превращения друг в друга. Соотношение

между этими соединениями определяется общим направлением почвообразовательного процесса. Минеральные фосфаты в почве, как правило, преобладают над органическими. Доля органических фосфорных соединений в общем содержании фосфора в пахотном горизонте минеральных почв составляет 16 – 48 % [8; 12]. Наиболее высокое содержание органофосфатов отмечено Д.М. Хейфецом [31] в серых лесных почвах и мощных черноземах – до 60 % от валового содержания.

Основной формой миграции химических элементов являются водорастворимые органоминеральные комплексы, способные как к стабилизации, так и к миграции [13; 14; 29; 30]). Между количеством адсорбируемых фосфатов и содержанием в почве фракции органоминеральных комплексов существует высокая положительная корреляция [22; 30]. В системах, содержащих полифосфаты, вероятность образования растворенных комплексов фосфата с металлами особенно велика. При этом, взаимодействуя с гумусовыми веществами, конденсированные формы P_2O_5 способствуют особенно интенсивному образованию миграционно-способных органо-минеральных комплексов [18].

Влияние природных особенностей различных элементов рельефа на плодородие почв и отзывчивость растений на внесение удобрений изучалось многими отечественными и зарубежными авторами [1; 2]. Было показано, что мероприятия по повышению плодородия почв должны проводиться с учетом не только характера культуры, типа почвы и почвообразующих пород, но и экспозиции и крутизны склонов.

Одним из культур эдификаторов интродуцированных из Средиземноморья, является козлятник восточный – *Galéga orientalis*. Козлятник с точки зрения улучшения плодородия почвы очень ценная культура. В опытах института кормов корневых остатков в первый год жизни было 77 ц/га, на второй – 115, на шестой – 282 ц/га. В корневых остатках имелось соответственно 146, 290 и 819 кг/га, азота в остатках клевера лугового накопилось от первого года жизни к третьему 44, 114, 148 кг/га азота, корневых остатков 20, 56, 79 ц/га [3; 20].

Таким образом, козлятник восточный способен накапливать азот и повышать плодородие почвы больше, чем клевер и люцерна. В почве, помимо азота, остается 40 – 80 кг фосфора, 90 – 120 кг/га калия [21].

Благодаря симбиозу с ризобиум козлятник восточный основную часть урожая формирует за счет атмосферного азота, что играет важную роль не только в производстве дешевых высокобелковых кормов, но и в биологизации земледелия. Он накапливает до 300 кг/га биологического азота, служит хорошим предшественником для других культур [15; 16; 28].

Одной из характерных особенностей возделывания козлятника восточного является то, что он образует большое количество растительных остатков. Растительные остатки обладают продолжительным последствием, т. к. в первый год после заделки используется не более 30 % заклю-

ченного в них азота. Динамика расхода накопленного азота, по данным многочисленных исследований, выглядит следующим образом: в 1-й год – 30 %, во 2-й – 35 %, в 3-й – 25 % и в 4-й год – около 10 %. Кроме того, в корневой массе накапливается 0,4 – 0,6% фосфора, 1 – 1,5 % калия, 1,5 – 2,0 % кальция. Козлятник с точки зрения улучшения плодородия почвы очень ценная культура. Он способен накапливать азот и повышать плодородие почвы больше, чем клевер и люцерна. В почве остается помимо азота 40 – 80 кг фосфора, 90 – 120 кг/га калия [9; 10].

Козлятник восточный способствует освобождению почвы от вредных микро - и макропаразитов, развитию полезной фауны, её деятельности, что создает благоприятные условия для последующих культур, даже количество дождевых червей под ним резко увеличивается. Почва становится структурнее.

Велико его фитосанитарное влияние, т. к. корневые выделения козлятником восточным алкалоидов подавляют развитие патогенных микроорганизмов и положительно влияют на развитие полезных почвенных микроорганизмов, выделяющих ферменты, в основном уреазу, фиксирующих свободный азот воздуха и репродуцирующих витамины [6; 24; 25].

Со временем стало очевидным, что изучение влияния ландшафтных условий на плодородие почв необходимо проводить в пределах специальных агроэкологических стационаров. Были разработаны элементы ландшафтно-полевого опыта и стационарных мониторинговых наблюдений, позволяющих отслеживать процессы изменения плодородия почв в различных ландшафтных и технологических условиях. Однако многие вопросы ландшафтной агрохимии все еще недостаточно ясны. Вызывает, например, интерес проблема динамики плодородия почв под совместным воздействием сельскохозяйственных культур и ландшафтных условий. Для ее решения были проведены мониторинговые наблюдения за плодородием почв в период 1997 – 2012 гг. на агроэкологическом полигоне ВНИИМЗ под плантациями козлятника восточного и пятикомпонентной бобово-мятликовой травосмеси.

Методика. Полевые исследования проводились на агроландшафтном полигоне ВНИИМЗ в 1997 – 2012 гг. Агроэкологический стационар ВНИИМЗ расположен в пределах конечно – моренного холма с относительной высотой 15 м. Холм состоит из межхолмных депрессий (северной и южной), южного склона крутизной 3 – 5°, плоской вершины и северного склона крутизной 2 – 3°. Почвенный покров представлен вариацией – мозаикой дерново-подзолистых глееватых и глеевых почв, развивающихся на двучленных отложениях различной мощности. Южный склон характеризуется господством песчаных и супесчаных почв, тогда как на северном преобладают их легкосуглинистые разности, что является генетической особенностью конечно-моренных гряд. Почвы

агроэкологического стационара осушены регулярным гончарным дренажем с междренными расстояниями от 20 до 40 м.

Стационар характеризуется слабой пересеченностью рельефа и относительной высотой – 15 м. Ландшафтное обследование территории позволило выявить 7 агромикрорландшафтов (АМЛ). Классификация элементарных геохимических ландшафтов проводилась по Польшину-Глазовской и служила объективной основой для формирования системы агроэкологических ограничений техногенно-химических нагрузок, предотвращения эрозии, загрязнения почв и вод токсикантами [5; 23].

Математическая обработка результатов исследований выполнялась пакетом статистических программ Statistika 10 и Microsoft Office Excel.

За варианты опыта были взяты микрорландшафты северного и южного склонов и вершина. Агрохимическое обследование почв стационара проводилось в начале и конце исследований. Почва на южном склоне дерново-подзолистая слабооглеенная супесчаная, среднеслабосмытая на мощном двучлене, содержание гумуса составляло 2,92 %, P_2O_5 – 727 и K_2O – 238 мг/кг почвы, pH KCl – 5,81.

Плоская вершина характеризуется дерново-подзолистой, преимущественно глееватой песчаной на среднемощном двучлене почвой, содержание гумуса составляет 2,69 %, P_2O_5 – 439 и K_2O – 292 мг/кг почвы, pH KCl – 5,36).

На северном склоне почва дерново-подзолистая глееватая легко-среднесуглинистая на маломощном двучлене, содержание гумуса составляло 3,21 %, P_2O_5 – 289 и K_2O – 116 мг/кг почвы, pH KCl – 6,12.

Делянки опыта имели вид непрерывных параллельных полос, пересекающих все ландшафтные позиции холма и расположенные перпендикулярно дренажу. Ширина одной делянки 7,2 м, длина 1400 м. Площадь под каждой культурой – 1 га. Вдоль полосы технологическое воздействие однотипно, что позволяет наиболее точно изучить адаптивные реакции растений в различных агромикрорландшафтных условиях.

Выводное поле засеяно козлятником восточным в 1997 г. Удобрения за время наблюдений не вносились.

Изучение характеристик травостоев, а также параметров ландшафтной среды производилось в точках опробования, различающихся только в ландшафтном отношении. Они регулярно расположены по трансекте на расстоянии 40 м друг от друга. Наблюдения проводили в точках опробования на основе общепринятых методик.

Результаты и обсуждение. Изучен продукционный процесс козлятника восточного за четырнадцать лет. Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что продуктивность козлятника восточного значительно отличалась на разных элементах холма. Так, преимущество южного склона отмечается в течение 6 лет исследований, а северного – 8 лет,

что подтверждает средняя многолетняя статистика. Вариабельность продуктивности сильнее проявляется на вершине.

Таблица 1
Продуктивность плантации козлятника восточного, т/га сухой массы

Элементы холма	Годы исследований		Среднее	Доверит. интервал ±	Разница
	1998	2012			
Южный склон	4,7	6,0	5,4	1,2	-1,3
Вершина холма	6,5	6,0	6,3	1,3	0,5
Северный склон	4,8	6,1	5,5	1,3	-1,3
Среднее	5,3	6,0	5,7		0,7
Доверит. интервал ±	1,0	0,1	0,5		

На склонах конечно – моренного холма продуктивность сухой массы козлятника до 2007 года повышалась,

Доверительный интервал (табл.1) по элементам конечно моренного холма в большинстве случаев показывает существенные различия по годам исследований и по склонам.

Коэффициенты вариации урожайности растут от подножий к вершине холма, что говорит о снижении устойчивости травостоя с увеличением высоты.

Пожнивно-корневые остатки козлятника восточного определяют питательный режим почвы потому, что в биологический круговорот вовлекается огромная масса почвы, которая определяется особенностью корневой системы культуры. Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что масса пожнивно-корневых остатков в 3 – 4 раза больше урожайности козлятника восточного.

Таблица 2
Содержание пожнивно-корневых остатков на плантации козлятника восточного в слое почвы 0 – 20 см, т/га сухого вещества

Элементы холма	Годы исследований		Среднее	Доверит. интервал ±	Разница 1997 – 2011 гг.
	1998	2012			
Южный склон	16,7	21,6	19,2	0,9	-4,9
Вершина холма	26,0	23,6	24,8	1,3	2,4
Северный склон	16,1	19,8	18,0	1,0	-3,7
Среднее	19,6	21,7	20,6	1,0	-2,1
Доверит. интервал ±	0,5	0,2	0,1		

В среднем за годы исследований больше пожнивно-корневых остатков формировалось на вершине холма, чем на его склонах. Коэффициент корреляции урожая козлятника и пожнивно-корневых остатков составляет от 0,8 до 0,9.

Динамика содержания фосфора по экспозиционным элементам ландшафта в посевах козлятника восточного имела определённую закономерность. Независимо от экспозиции содержание фосфора снижалось до 2000 г. с последующим увеличением к 2011 г. в среднем на 130 мг/кг.

Динамика доступных соединений фосфора в почве по годам примерно совпадает с динамикой продуктивности козлятника восточного, где прослеживается увеличение продуктивности в 2009 – 2010 гг. Коэффициент корреляции продуктивности козлятника восточного и содержания доступных соединений фосфора по южному склону составляет 0,99; по вершине холма – 0,5; по северному склону – 0,96.

Южный склон отличается более высоким содержанием доступного фосфора, чем вершина и северный склон. Степень вариации опыта составляет 11,7 %. Следовало бы ожидать линейный отрицательный тренд содержания доступных соединений фосфора с 2000 г. к 2011 г. Однако к 2011 г. прослеживается увеличение соединений фосфора до 349 мг/кг P_2O_5 . Исследователи [8] считают, что существует не только динамика доступных соединений по годам, но и сезонная динамика, которая определяется влажностью и температурой.

В наших исследованиях коэффициент детерминации зависимости доступных элементов питания от погодных условий достигал 0,75, с закономерностью увеличения при повышении температуры. Кроме того, масса пожнивно-корневых остатков в среднем составляет ≈ 25 т/га, что в переводе на условный навоз составляет 125 т/га. Однако из этой массы только 15 – 20 % является органическим материалом для минерализации в виде потерь при уборке, естественного опада сухих листьев, отмирания корней [26; 27].

Зависимость влияния температуры почвы на содержание подвижного фосфора, с одной стороны, базируется на общеизвестных законах термодинамических реакций. При увеличении температуры происходит возрастание реакционной способности катионов и анионов почвенного поглощающего комплекса, вследствие чего увеличивается образование малорастворимых фосфорных соединений. Так, в серии лабораторных опытов, проводимых с целью изучения превращения фосфора удобрений на южном карбонатном черноземе, получены следующие результаты: повышение температуры от 0° до 25° снижает содержание подвижного фосфора как при низкой, так и при высокой влажности почвы [7].

С другой стороны, различным интервалам температуры и влажности соответствует различный видовой состав почвенной микрофлоры,

что также оказывает влияние на характер трансформации фосфорсодержащих соединений [32].

Итак, можно сделать следующие выводы:

1. Динамика соединений фосфора под травостоем козлятника восточного при исследовании в течение 15 лет была различной в зависимости от экспозиции склона.

2. На южном склоне конечно моренного холма содержание подвижных форм фосфора сохраняется в слое 0 – 20 см в большей степени, чем на других агроландшафтах. В то же время расходная часть баланса подвижных соединений фосфора меньше всего на северном склоне.

3. При этом продуктивность пашни за 15 лет использования повысилась на всех элементах рельефа на 10 – 15 %.

4. Повышение продуктивности биомассы по склонам конечно моренного холма объясняется тем, что в первый год опыта, в сравнении с 15-м, количество пожнивно-корневых остатков увеличилось на 20 – 30 %.

5. Масса пожнивно-корневых остатков на вершине холма выше, чем на других элементах, потому, что архитектура посевов козлятника на вершине создала благоприятные условия для течения процесса фотосинтеза. При этом на единицу произведённых продуктов фотосинтеза тратилось меньше элементов питания.

Список литературы

1. Андреев Г.Э., Грислис С.Б. Многолетние травы в экосистемах // Кормопроизводство. 1995. №3. С. 14 – 16.
2. Баев К.А., Стеновский И.К. Удобрения и минеральный состав клеверо-тимофеечной смеси // Кормопроизводство. 1986, №8. С.41 – 49.
3. Вавилов П.П., Райг Х.А. Возделывание и использование козлятника восточного. Л.: Колос, 1982. 72 с.
4. Гинзбург К.Е. Фосфор основных типов почв СССР. М.: Наука, 1981. 235 с.
5. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М.: Изд-ва Моск. ун-та 1964. 229 с.
6. Грислис С.В., Решетников В.М. Значение клевера в агроэкосистемах, // Кормопроизводство. 1999, №6. С.15 – 17.
7. Ермолаев О. Т., Майстренко Н.Н. Влияние температуры и влажности почвы на превращение фосфора удобрений и соединений подвижного фосфора на южном карбонатном черноземе // Почвозащитная технология возделывания зерновых культур. Целиноград, 1975. С. 79 – 85.
8. Ефимов В.Н., Донских И.Н., Синицын Г.И. Система применения удобрений. М.: Колос, 1984. 272 с.
9. Жученко А.А. Стратегия адаптивной интенсификации сельского хозяйства: (Концепция). Пущино. 1994. 147 с.

10. Иванов Д.А., Митрофанов Ю.И. Продуктивность мелиорированного агроландшафта конечно-моренной гряды // Вестн. Рос. академии сельхоз. наук. 1998. №2. С. 48 – 50.
11. Ильина Л. В. Комплексное воспроизводство плодородия серых лесных почв и его эффективность. Рязань.: Узорочье, 1997. 232 с.
12. Карпухин А.И. Функциональная роль комплексных соединений в генезисе почв и питании растений // Гуминовые вещества в биосфере. М.: Наука, 1993. С. 117 – 125.
13. Кауричев И.С., Карпухин А.И. Воднорастворимые железоорганические соединения в почвах таежно-лесной зоны // Почвоведение. 1986. № 3. С. 66 – 72.
14. Кауричев И.С. и др. Водорастворимые органо-минеральные соединения почв таежно-лесной зоны // Докл. ТСХА. Сер. «Агрохимия и почвоведение». 1978. Вып. 243. С. 35 – 42.
15. Киселев Н.П., Кормщиков А.Д. и др. Вятские клевера / Н.П. Киселев, А.Д. Кормщиков и др. – Киров, 1995. С.167-173.
16. Ковалёв Н.Г. Методы исследований в адаптивно-ландшафтном растениеводстве / Н.Г. Ковалёв, Д.А. Иванов, В.А. Тюлин и др. Москва; Тверь: / АГРОСФЕРА / , 2007. 280 с.
17. Корзун М.А. Подвижный фосфор в серых лесных почвах Тулуно-Иркутской лесостепи / М.А. Корзун, Л.Н. Костюхин, Г.Н. Тарасова, В.С. Шевчук // Агрохимия. 1983. № 10. С. 97 – 103.
18. Кудеярова А.Ю. Источники поступления фосфора в природные воды // Экологические проблемы применения удобрений. М.: Наука, 1984. С. 146 – 160.
19. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений М.: Агропромиздат, 1990. 219 с
20. Кулешов Н.И., Трухина А.Ф. Повышение урожая кормового козлятника // Вестн. Рос. академии сельхоз наук. 1992. №5. С. 54 – 55.
21. Миркин Б.М., Горская Т.Г., Нуритдинов И.Ф. и др. Фитоценоотические закономерности сеяных лугов // Рациональное использование и охрана лугов Урала. Пермь. 1984. С. 58 – 67.
22. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 325 с.
23. Польшов Б.Б. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 400 с.
24. Симонов С.Н. Галега – новая кормовая культура. М., 1938. 67 с.
25. Симонов С.Н. Опыты по агротехнике галеги восточной. М., 1936. 10 с.
26. Сутягин В.П. Принципы формирования устойчивости агрофитоценозов адаптивно-ландшафтного земледелия. Тверь: / АГРОСФЕРА / , 2006. 287 с.
27. Сутягин, В.П., В.А. Тюлин. Агроэкологические аспекты продукционного процесса в растениеводстве. Тверь: / АГРОСФЕРА / , 2009. 332 с.

28. Тюлин В.А. Формирование устойчивой продуктивности бобово-злаковых и злаковых травостоев. Тверь: Изд-во ООО «Губернская медицина», 2000. 224 с.
29. Фокин А.Д. Исследование процессов трансформации, взаимодействия и переноса органических веществ, железа и фосфора в подзолистой почве: Автореф. дис. ... д-ра. биол. наук. М., 1975. 28 с.
30. Фокин А.Д. Состав органического вещества, состояние полуторных окислов и фосфатов в водах, дренирующих подзолистые почвы / А.Д. Фокин, А. Аргунова, И.С. Кауричев, И.М. Яшин // Изв. ТСХА. 1973. Вып.2. С. 99 – 105.
31. Хейфец Д.М. О питательном режиме мощных черноземов под лесом, степью и пашней в районе Курского заповедника // Хейфец Д.М. Почвоведение. 1961. № 2 С. 32 – 49.
32. Хмелинин И.Н. Фосфор в подзолистых почвах и процессы трансформации его соединений. Л.: Наука, 1984. 151 с.

GEOCHEMISTRY OF PHOSPHORUS COMPOUNDS UNDER THE GRASS GALEGA IN DIFFERENT AGRICULTURAL LANDSCAPES

Ivanov A. D¹., V. P. Sutyagin², V. A. Tulin²

¹ - all-Russian research Institute of reclaimed lands (VNIIMS)

² - FSBEI HPE Tver state agricultural Academy

The study was carried out on agro-ecological polygon VNIIMS in *Galéga orientalis* plantation during 15 years the study was carried. It was found that the content of mobile phosphorus under the grass *Galega* decreased in all elements in the moraine hill of course: on the southern slope of 52 %, the Northern slope of 44 %, the top 33 %. The productivity of arable land over 15 years of use has increased on all elements of relief on 10 – 15 % weight PKO – 20 -30 %. Architectonics of crops of vetch at the top has created more favorable conditions for the flow of the process of photosynthesis.

Key words: *agrolandscape hospital, the exposition of the slope, of course moraine hill, Galega, mobile compounds of phosphorus, crop-root residues.*