

ЛЕСНОЕ ПОЧВОВЕДЕНИЕ

УДК 631.416.2 : 634.0.181.3

Т. А. БРАТОЛЮБОВА

**ДИНАМИКА ФОСФОРА И КАЛИЯ В ПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ
БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ**

Приведены материалы изучения динамики подвижных калия и фосфора в вегетационный период в связи с изменениями тепла и влаги, происшедших в результате осушения прилегающих территорий. Наблюдался вынос фосфатов в нижние почвенные горизонты и грунтовые воды.

В биогеоценологии накопилось большое количество материалов, подтверждающих принцип единства и противоположности всех процессов, протекающих в биогеоценозах, выдвинутый Докучаевым [7]. Роде [16] выражает мнение, что только в этом направлении можно рассматривать все вопросы взаимодействия леса с почвой. Уровень плодородия почвы [17] сопряжен с общей интенсивностью круговорота веществ в биогеоценозе и особенностями циклического почвообразовательного процесса, который в свою очередь представляет собой совокупность большого числа микропроцессов — физических, химических, биохимических, биологических, — непрерывно совершающихся в почве в динамичных гидротермических условиях. Эту же мысль высказывает Пономарева [12] применительно к вопросу об особенностях водно-минерального питания различных типов фитоценозов. В работах Пьявченко [14] постоянно отмечается наличие связи между интенсивностью обмена веществ в различных типах болотных биогеоценозов и их тепловым и водным режимом. Орлов [11] на основе анализа многочисленных литературных данных делает вывод, что в настоящее время лесное почвоведение не располагает набором абсолютных показателей почвенного плодородия, оптимальным для различных древесных пород. Применяемые в лесном почвоведении методы агрохимического анализа позволяют установить содержание подвижных форм элементов в данный момент в данном почвенном горизонте, но, по мнению, сложившемуся в современной экологии [10], продуктивность экосистемы коррелирует не только с концентрацией веществ, но в большей степени с интенсивностью процессов обмена между почвой и растением. Во втором издании «Программы и методики биогеоценологических исследований» [13] справедливо указывалось, что, изучая содержание подвижных и валовых форм элементов питания в почве в условиях стационарных опытов в течение вегетационного периода и связывая их с режимом тепла и влаги в зоне аэрации, мы можем получить более полное представление о режиме минерального питания в лесу. В ряде работ, опубликованных в последние годы [1, 4, 6, 8 и др.], сделаны попытки связать динамику подвижных элементов питания с некоторыми гидроклиматическими факторами (количеством

осадков, температурой воздуха, уровнем грунтовых вод и др.). К сожалению, во многих работах содержание подвижных элементов питания определяли не во всех генетических горизонтах, а только в подстилке и верхнем слое почвы, а метеорологическую обстановку характеризовали очень схематично, что затрудняет анализ полученных данных.

В настоящей статье приведена характеристика изменений в режиме фосфатного питания в лесу на примере сосняка черничного в Белорусском Полесье в связи с изменениями гидрологического, радиационного и теплового режимов в деятельном слое леса, происшедших в результате осушения прилегающих сельскохозяйственных территорий. Исследования проводили в районе водосбора верховьев р. Ясельды на Березовском лесогидрологическом стационаре БелНИИЛХ, где с 1971 г. под руководством О. А. Белоцерковской проводится комплексное изучение факторов внешней среды с помощью метода водного и теплового баланса [2, 3]. Метод позволяет дать объективную оценку взаимодействия света, тепла и влаги внутри конкретного биогеоценоза и таким образом количественно охарактеризовать все изменения микроклиматических условий во всем деятельном слое леса, в том числе и в зоне аэрации почвы. В начале 1974 г. были завершены осушительные работы на прилегающей к стационару территории (осушительный канал проложен в 200 м от объекта исследования), в результате чего в 1975 г. были отмечены изменения микроклиматических факторов в данном биогеоценозе. На этом фоне в 1974—1975 гг. проводили изучение динамики рН и подвижных форм калия и фосфора в почве.

Почвенные образцы для химического анализа отбирали раз в месяц по генетическим горизонтам до глубины 100 см на определенных площадках, причем смешанные образцы составляли из 5 разрезов. Определяли влажность почвы, рН (в образцах, насыщенных водой до границы текучести), подвижные калий и фосфор по Кирсанову. Механический и химический анализы для общей характеристики почвы были проведены на примере осенних образцов 1974 г. по общепринятым в почвоведении и агрохимии методикам. Групповой состав фосфора определен на примере осенних образцов 1975 г. За основу взят метод Чирикова в модификации Шконде. Однако при выделении I группы фосфатов методика была видоизменена. Поскольку почва имеет очень большую кислотность, при которой, по литературным данным [15], свободной углекислоты в почвенном растворе практически не содержится, а кислотность в основном обуславливается наличием органических кислот, мы сочли целесообразным при выделении I группы фосфатов применить ацетатно-буферные смеси, 0,5 n по ацетатному иону, имеющие показатель рН, соответствующий данному почвенному горизонту. Несколько раз в течение вегетационного периода отбирали для анализа почвенно-грунтовые воды из шурфов.

Ниже приведено морфологическое описание почвенного профиля в разрезе, заложенном V.1973. Разрез заложен в сосняке черничном средневозрастном, бонитет 11, полнота 0,95; единичный подрост рябины, березы, дуба, липы; напочвенный покров представлен черникой (степень покрытия 80%), отдельными подушками сфагнума, редко встречается политрихум*.

A_0' 0—2 см Подстилка: сухая хвоя, листья, зеленые мхи, корни.
 A_0'' 2—8 см Торф красно-бурого цвета, степень разложения 25%, сосново-кустарничкового происхождения, пронизан корнями.

A_1 8—13 см Угольно-черная, местами красноватого оттенка липкая органическая масса с маслянистым блеском на срезе, влажная, слабоуплотненная.

* Диагностика почвы и характеристика по степени увлажнения выполнены под руководством Т. А. Романовой.

Таблица

Валовой состав почвы

Горизонт и глубина, см	Потери при прокаливании, %	Содержание, %						SiO ₂	SiO ₂
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	P ₂ O ₅	N	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
A ₀ 2—8	86,33	11,02	1,18	0,36	0,24	0,167	1,19	16,0	81,3
A ₁ 8—12	40,00	56,15	1,84	0,35	0,53	0,108	0,57	51,9	433,4
A ₂ 10—20	3,10	93,27	1,75	0,25	0,72	0,040	0,07	90,8	989,2
B _{1hf} 20—32	5,32	90,92	2,62	0,34	0,84	0,120	0,115	58,9	721,0
B _{2C_G} 32—60	2,75	92,83	2,52	0,33	0,97	0,100	0,064	62,6	746,9
C _G 60—80	1,38	94,32	2,65	0,40	0,93	0,030	0,041	60,6	630,5

Таблица 2

Некоторые физико-химические показатели исследуемой почвы

Горизонт и глубина, см	pH водный	Состав почвенного поглощающего комплекса				Fe и Al по Тамму, мг/100 г		Подвижные, мг/100 г		
		H	Ca+Mg	Al	степень насыщенности, %	Fe	Al	N	P	K
A ₀ 2—8	3,06	1,75	14,20	12,73	50,0	104,9	189,6	31,3	18,1	75,6
A ₁ 8—12	3,05	0,25	6,76	6,88	51,5	94,5	251,0	8,9	3,0	24,3
A ₂ 12—20	3,45	0,09	3,16	1,66	36,2	107,7	17,4	2,5	1,3	2,3
B _{1hf} 20—32	4,17	0,10	2,16	2,32	52,7	318,7	67,8	6,6	41,4	2,0
B _{2C_G} 32—60	4,42	0,12	1,00	0,81	50,0	не опр.	38,4	5,6	25,2	3,1
C _G 60—80	4,65	0,02	0,86	0,22	43,7	238,1	19,5	1,7	7,5	2,7

Таблица 3

Содержание фосфора и калия в почвенно-грунтовых водах

Дата	pH	P	K	Дата	pH	P	K
		мг/л				мг/л	
21.V.74	4,35	Сл.	2,20	19.V.75	6,85	0,070	3,20
22.VI.74	5,15	»	10,00	22.VI.75	5,46	0,100	3,00
11.VII.74	4,25	»	3,40	26.VII.75	4,50	0,200	3,30
5.X.74	5,00	0,150	5,20	4.VIII.75	6,75	0,035	4,10

A₂ 13—22 см Буровато-белесый с серыми пятнами, влажный, уплотненный.

B_{1hf} 22—28 см Кофейно-коричневый с серыми и белесыми пятнами, ореховатой структуры, уплотненный.

B_{2C_G} 28—44 см Светло-серый с оливковым оттенком, с мелкими черными и оливковыми прожилками, оглеенный с некоторыми признаками иллюирования, бесструктурный, слабоуплотненный.

C_G 44—100 см Сизовато-светло-серый, бесструктурный, слабоуплотненный.

Почва дерново-подзолистая с иллювиально-гумусным горизонтом. Почвы сформировались на мелкозернистых песках. Содержание глинистой фракции имеет заметный максимум (до 12%) в иллювиальном горизонте, причем в составе глинистой фракции преобладает илистая (до 11,5%). Порозность гумусового горизонта составляет 88%, в нижележащих минеральных горизонтах она уменьшается до 50,8—51,6%. Минеральная часть почвы (табл. 1) характеризуется высоким преобладанием кислых окислов над основными. В иллювиальном горизонте (табл. 2) заметна аккумуляция несиликатных форм железа и алюминия,

а также азота и фосфора, как валовых, так и подвижных. Для калия наблюдается другая закономерность: минеральная часть почвы характеризуется равномерным распределением валового калия по профилю, подвижный калий в основном сосредоточен в верхних горизонтах и аккумуляции его в нижележащих слоях не наблюдается. Вместе с тем, как видно из табл. 3, калий в относительно большом количестве (по сравнению с фосфором) обнаружен в почвенно-грунтовых водах.

Почвы отличаются большой кислотностью, степень насыщенности основаниями в ряде случаев превышает 50%, при этом общая кислотность в значительной степени связана с гидролизом солей алюминия: содержание алюминия по Соколову составляет 83% от общего количества катионов в гор. А₁ и достигает 100% в иллювиальном горизонте и в нижележащей толще.

Таблица 4

Формы фосфора в исследуемых почвах (P₂O₅, мг/100 г почвы)

Горизонт и глубина, см	рН водный	Валовый фосфор	Группы фосфора по Чирикову			Подвижный фосфор
			NaAc + HAc 0,5 л, Ac	HAc 0,5 л	HCl 0,5 л	по Кирсанову HCl, 0,2 л
A ₀ 2—10	3,0	170,0	38,3	37,3	46,0	17,0
A ₁ 10—13	3,0	66,0	9,8	8,7	10,2	2,2
A ₂ 13—22	3,4	25,2	2,0	2,5	2,8	0,6
B _{1hf} 22—30	4,1	84,4	1,4	19,2	55,8	33,7
B _{2CG} 30—60	4,4	98,1	1,5	13,7	94,7	58,6
C _G 60—80	4,6	40,0	0,7	2,9	14,6	9,5

Данные табл. 4 показывают, что в подстилке и гумусовом горизонте растворимость фосфатов во всех равновесных вытяжках близка по величине, а по методу Кирсанова фосфатов в вытяжку переходит в 2—4 раза меньше. В нижних горизонтах характер распределения фосфатов по методу Кирсанова аналогичен с фосфатами III группы и валовым фосфором, причем область аккумуляции фосфатов совпадает с областью увеличения рН более 4,0, что соответствует тому интервалу кислотности, при котором выпадают в осадок фосфаты железа, алюминия и др. Подобное распределение фосфатов по почвенному профилю наблюдали и другие авторы. Забелло [8] отмечает вынос подвижных фосфатов в нижние горизонты (до 15,3 мг P₂O₅/100 г почвы) в песчаных слабоподзолистых почвах под лесом (сосняк брусничный). По данным Хилеурме [21], в гор. В₂ бурой псевдоподзолистой почвы параллельно с увеличением содержания валового фосфора (до 0,2%) отмечалась аккумуляция подвижных фосфатов. Тулин и др. [18], исследуя групповой состав фосфатов в песчаных почвах Брянского Полесья, отмечают в отдельных случаях в почве под лесом высокое содержание подвижных фосфатов в нижних горизонтах (44,0 мг/100 г в гор. А₂В₁, 54,3 в гор. В₂ и 56,3 в гор. В₂С), причем групповой анализ по методу Чирикова показал, что преобладают фосфаты III группы. Вместе с тем Фокин [20], изучавший баланс переноса железа и фосфора в подзолистых почвах тяжелого механического состава, не обнаружил иллювиальной аккумуляции фосфатов. Большинство авторов, рассматривающих механизм переноса фосфатов по почвенному профилю [18, 19, 21], считает, что фосфор, мигрирующий с почвенными растворами, связан с органическим веществом и входит в состав органо-минеральных комплексов. С другой стороны, характер миграции этих соединений неразрывно связан с особенностями гидрологического режима, т. е. с характером миграции почвенной влаги. В песчаных почвах под лесом, по данным Белоцерковской, общий сток (до осушения)

составляет небольшую долю в водном балансе: до 25% в мае в период паводка, 0,2—0,8% летом и 5% в сентябре. При этом преобладал сток внутрисочвенный, а поверхностный сток в сосняке черничном практически равнялся нулю. Это, по-видимому, способствует тому, что именно в почвах с легким механическим составом наблюдается характерная дифференциация фосфатов по профилю в результате вертикального переноса веществ с почвенными растворами, в то время как в суглинистых почвах, где, по наблюдениям Фокина [20], большую роль играет горизонтальный перенос веществ со стоком, аккумуляции фосфатов в нижних горизонтах не обнаружено.

Охарактеризуем на основе данных, полученных в отделе гидробиофизики и экологии леса БелНИИЛХ, те изменения, которые произошли в результате мелиоративных работ на прилегающей территории за вегетационные периоды 1974—1975 гг. непосредственно на объекте исследования. Начало вегетационного периода 1974 г. было сухим: в апреле и мае выпало соответственно 14 и 55% от многолетней нормы осадков; в 1975 г. в апреле выпало 193% осадков, а в мае — 60% от нормы. При более благоприятном режиме осадков влажность почвы в мае 1975 г. была меньше, чем в мае 1974 г.: во всех почвенных горизонтах отношение $W_{75} : W_{74}$ в среднем в зоне аэрации составило 0,72, несмотря на то что суммарное испарение за этот период в 1975 г. было в 1,3 раза меньше. Следовательно, согласно уравнению водного баланса [2], в 1975 г. увеличилась доля внутрисочвенного стока. В июне и июле обоих вегетационных периодов количества осадков были близки к средним многолетним, хотя характер их режима различался. Так, в 1974 г. выпало несколько больше осадков (130% от нормы), но они в основном носили характер кратковременных ливневых дождей, а в 1975 г. при общем количестве осадков несколько меньшем (93% от нормы) преобладали затяжные дожди фронтального типа, так что режим осадков был благоприятным в обоих случаях. Несмотря на это, отношение $W_{75} : W_{74}$ составляло в среднем по зоне аэрации 0,54, в то время как суммарное испарение в июле 1975 г. было в 1,4—1,8 раза меньше, чем в предыдущем году. Существенно изменился режим уровня грунтовых вод (УГВ): в июне-июле 1974 г. наблюдался максимум в режиме УГВ, достигший 76 см, а этот период в 1975 г. характеризовался постепенным снижением УГВ до 142 см в начале июня и до 176 см в конце июля. В целом гидрологический режим биогеоценоза трансформировался из естественного в техногенный. Радиационный баланс деятельного слоя леса за период 1973—1975 гг. заметно уменьшился: в мае среднемесячные величины радиационного баланса составляли ($\text{кал}/\text{см}^2 \cdot \text{сут}$) в 1973 г. — 38, в 1974 г. — 350, а в 1975 г. — 310; в июне соответственно 420—380—320, в июле 440—380—370. Ухудшился и тепловой режим почв: в среднем потоки тепла в почву в 1975 г. уменьшились по сравнению с 1974 г. в мае в 1,6 раза, в июле — в 1,8 раза.

Данные по динамике подвижных калия и фосфора позволяют проследить в течение 2 лет июльский максимум содержания этих элементов в подстилке и гумусовом горизонте, что согласуется с данными некоторых авторов [1, 4, 6, 8], изучавших динамику подвижных азота, фосфора и калия в почвах различного механического состава — от песков до суглинков — в суходольных лесах сравнительно высокой продуктивности (I—III бонитет). Заметен максимум содержания подвижных фосфора и калия в конце апреля, который сопровождается минимумом в конце мая в верхних почвенных горизонтах. В гор. V_{1m} и V_2C_6 в течение обоих вегетационных периодов наблюдается максимум содержания подвижного фосфора во вторую половину лета, причем в 1975 г. максимальные значения подвижного фосфора ($90,0 \text{ мг}/100 \text{ см}^3$) были выше, чем в 1974 г. ($70 \text{ мг}/100 \text{ см}^3$). В течение осенне-зимне-весеннего периода наблюдалось постепенное смещение максимума подвижных фосфатов в

нижние горизонты: во второй половине лета максимум наблюдался в гор. V_{1nt} , в конце ноября — в гор. V_2C_a , в марте — в гор. C_a , а в конце апреля, после весеннего паводка и обильных осадков, наблюдался минимум во всех нижних почвенных горизонтах, в то время как в верхних горизонтах в конце апреля уже был максимум. Все эти изменения протекали при стабильном гидрологическом режиме, при максимальных в годичном цикле значениях влажности и подъеме УГВ до 50—60 см, что характерно для условий промывного режима. В целом за период 1973—1975 гг. произошло смещение максимума распределения подвижных фосфатов по почвенному профилю из гор. V_{1nt} в гор. V_2C_a . Можно предположить, что в этот период шел процесс постепенного выноса фосфатов в нижние горизонты и далее через стадию сложных почвенных микропроцессов в почвенно-грунтовые воды, что в конечном счете привело к потере фосфора из сферы круговорота в биогеоценозе. Это предположение подтверждается данными анализа почвенно-грунтовых вод (табл. 3). На протяжении вегетационного периода 1974 г. фосфор в почвенно-грунтовых водах не был обнаружен (при чувствительности метода 0,01 мг/л), а начиная с октября 1974 г. в грунтовых водах находили фосфор, в основном связанный с органическим веществом. При этом можно отметить, что содержание фосфора в грунтовых водах коррелировало с их кислотностью: наибольшее количество фосфора соответствовало большей кислотности и наоборот.

Выводы

1. В песчаных лесных почвах Белорусского Полесья, сформированных в условиях промывного водного режима под сосняком черничным, отмечается высокая аккумуляция фосфатов в нижних почвенных горизонтах, причем преобладает группа фосфатов, растворимых в сильных кислотах.

2. В вегетационном цикле динамики подвижных калия и фосфора в подстилке и гумусовом горизонте прослеживается апрельский и июльский максимумы в сочетании с минимумом в мае.

3. Изменение гидрологического режима в сторону иссушения зоны аэрации, падения УГВ на фоне уменьшения радиационного баланса деятельного слоя леса и потоков тепла в почву даже в условиях благоприятного режима осадков способствует выносу фосфатов в нижние почвенные горизонты и грунтовые воды.

Литература

1. Арефьева З. И., Колесников Б. П. К характеристике азотного режима еловых лесов Южнотаежного Зауралья. Лесоведение, 1974, № 1.
2. Белоцерковская О. А. Микроклиматические особенности лесов Полесья. В кн.: Сб. работ Белорус. территор. гидрометеорол. центра. вып. 2, 1973.
3. Белоцерковская О. А. Особенности водно-теплового режима лесных биогеоценозов Белорусского Полесья. В кн.: Лесохозяйственная наука и практика, вып. 25. Минск, 1975.
4. Вайчис М. В. Сезонная динамика кислотности почв и подвижных азота, фосфора и калия под сосновыми и дубовыми древостоями на озерно-ледниковых отложениях. В кн.: Химия, генезис и картография почв. М., 1968.
5. Вомтерский С. Э. Биологические основы эффективности мелиорации. «Наука», 1968.
6. Докучаев В. В. Соч., т. 3. М.—Л., Изд. АН СССР, 1948.
7. Забелло К. Л. Динамика элементов почвенного питания сосновых насаждений на легких по механическому составу дерново-подзолистых почвах. В кн.: Лес и почва. Красноярск, 1968.
8. Одум Ю. Основы экологии. «Мир», 1975.
9. Орлов А. Я., Кошелюков С. П. Почвенная экология сосны. «Наука», 1971.
10. Пономарева В. В. Водно-почвенно-экологическая характеристика некоторых типов леса, луга, компонентов лесостепи. Экология, 1972, № 6.
11. Программа и методика биогеоценологических исследований. «Наука», 1974.
12. Пьявченко Н. И. Об изучении болотных биогеоценозов. В кн.: Основные принципы изучения болотных биогеоценозов. «Наука», 1972.

13. *Роде А. А.* Несколько данных о физико-химических свойствах водорастворимых веществ лесных подстилок. Почвоведение, 1941, № 3.
14. *Роде А. А.* К вопросу о роли леса в почвообразовании. Почвоведение, 1954, № 5.
15. *Роде А. А.* Система методов исследования в почвоведении. «Наука», 1972.
16. *Тулин С. А., Ставрова Н. Г.* О формах фосфора и калия в песчаных почвах Брянского Полесья. Агрехимия, 1975, № 7.
17. *Фокин А. Д., Аргунова В. А., Кауричев И. С. и др.* Состав органического вещества и состояние полуторных окислов и фосфатов в водах, дренирующих подзолистые почвы. Изв. ТСХА, 1973, вып. 2.
18. *Фокин А. Д.* Изучение баланса переноса железа и фосфора в подзолистых почвах методом радиоактивных индикаторов. Изв. ТСХА, 1976, вып. 2.
19. *Хиленурме В. А.* О сорбции фосфатов бурой типичной и бурой псевдоподзолистой почвами. Почвоведение, 1974, № 8.

БелНИИЛХ
г. Гомель

Дата поступления
10.V.1976 г.

Т. А. BRATOLYUBOVA

DYNAMICS OF PHOSPHORUS AND POTASSIUM IN SOILS OF BELORUSSIAN POLESYE (WOODLAND)

During vegetative season the dynamics of mobile potassium and phosphorus, in connection with changes in heat and moisture regimes, due to reclamation of adjacent areas has been studied. The removal of phosphates into lower soil horizons and ground water has been observed.
