

because of their hard rocks, large amounts of water and kurum development, supplemented by peat growing at the most advanced stage of the process. There are monofactor (lithological) permafrost stows and polyfactor ones, including the open kurums (the result of contributory lithology, aspect and exogeodynamics) and hanging peat bogs of steep slopes (the same factors plus the biogenic one). Non-permafrost stows are located in the areas of solid rocks and well-drained loose sediments. Three series of permafrost stows have been distinguished according to their resistance to the climate warming.

УДК 911.2:550.4(470.11)

А.В. Хорошев, А.А. Прозоров

ДИНАМИКА ЩЕЛОЧНО-КИСЛОТНЫХ УСЛОВИЙ В ПОЧВАХ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ЛАНДШАФТОВ¹

Исследования по проблеме эволюции, самоорганизации и функционирования ландшафтов требуют изучения динамики их геохимического режима, определяющего условия миграции вещества. К числу наиболее информативных параметров геохимического режима относится рН почв — один из наиболее просто и часто определяемых переменных в почвенных и ландшафтных исследованиях. Однако разовые измерения могут приводить к недостоверным выводам вследствие его высокой временной и пространственной изменчивости [5, 7, 12, 14, 15]. Именно поэтому для получения полного представления о геохимическом режиме ландшафта необходимы сезонные и многолетние исследования. Каждому ландшафту свойствен определенный диапазон геохимических обстановок, который является отражением соотношения двух основных групп факторов: литогенных и биогенных.

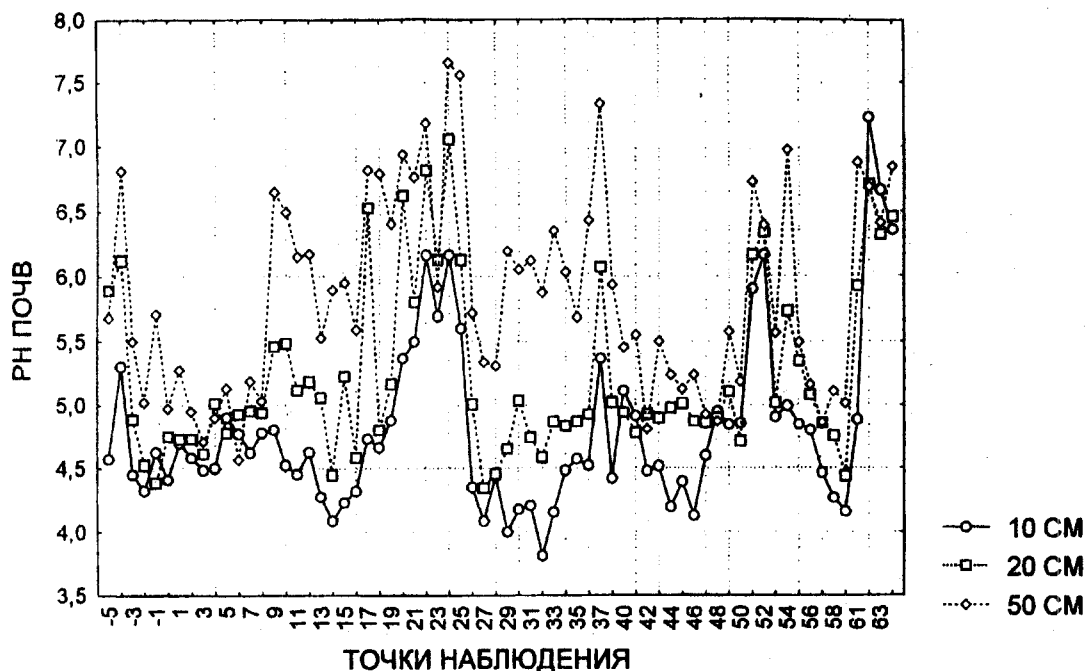
Цель данной работы — определение вклада биогенных и литогенных факторов в динамику щелочно-кислотных условий среднетаежных ландшафтов. Требуется решить следующие задачи: 1) определение пространственной вариабельности рН в пределах природно-территориальных комплексов (ПТК) локального уровня как результата либо осуществления разнонаправленных потоков вещества, либо исходной неоднородности субстрата; 2) определение сезонной и межгодовой изменчивости рН почв для выявления стабилизирующей или дестабилизирующей роли разных ландшафтных ситуаций; 3) определение вклада компонентов ландшафта (растительность, грунтовые воды, горные породы), а также микро- и мезорельефа и погодных условий как факторов динамики щелочно-кислотных условий.

Объектом, на примере которого рассматривались эти отношения, был среднетаежный эрозионно-моренный ландшафт, расположенный на юге Ар-

хангельской области (Устьянский район) в бассейне р. Заячьей (правый приток Кокшеньги), где с 1994 г. проводятся исследования геохимической обстановки. На трансекте протяженностью 1750 м проводилось регулярное опробование с шагом 25 м с комплексным ландшафтным описанием. Опробование почв и определение рН в водной вытяжке проводилось по трем горизонтам (10 см — обычно горизонт А1 или А1А2, 20 см — горизонт А2 и 50 см — горизонт В или G) в летний (начало июля) и осенний (конец сентября) сезоны. Одновременно фиксировались уровень грунтовых вод и их рН. Трансект пересекает территорию с достаточно дробной ландшафтной структурой, основными элементами которой являются: а) переходное осоково-сфагновое болото с торфяно-глеевыми почвами, б) плоское водораздельное пространство с елово-березово-сосновым лесом на торфянисто-перегнойно-слабоподзолистых почвах, в) склон долины р. Заячьей с сосново-еловым лесом на среднеподзолистых почвах, г) пойма р. Заячьей с ельником кустарниковым на торфяных низинных почвах. Коренные верхнепермские мергели татарского яруса, залегающие на глубине 0—17 м, перекрыты московскими моренными суглинками и озерно-ледниковыми супесями. Почвы формируются в многочисленных отложениях с подстилающими коренными карбонатными породами, что типично для Европейского Севера [1—4, 6, 8].

Щелочно-кислотные условия в почвах трансекта характеризуются высокой контрастностью как в латеральном, так и в радиальном направлениях. В латеральном направлении от верхового болота к пойме р. Заячьей на расстоянии 1750 м наблюдается довольно регулярное чередование зон с кислой и слабощелочной реакцией со средней протяженнос-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 96—05—65495).



Фиг. 1. Распределение pH почв по трансекту (средние значения за летние сезоны 1994—1998 гг.)

тью 200 м (рис. 1). Фоновые для среднетаежных почв кислые условия (pH 4,0—5,2) сменяются зонами подщелачивания со значениями pH 6,0—7,5. Общей тенденцией радиального распределения щелочно-кислотных условий является возрастание pH с глубиной, однако степень радиальной контрастности сильно различается.

Изменчивость щелочно-кислотного режима почв во времени между летним и осенним сезонами и по годам за период 1994—1998 гг. можно охарактеризовать по результатам кластерного анализа (метод Варда по метрике Пирсона) четырьмя основными типами, находящимися в соответствии с различиями водного режима. Первый тип со стабильно кислым режимом и низкой радиальной контрастностью pH характерен для почв верхового болота и придолинного склона. Стабилен и водный режим, но на болоте это проявляется в виде слабых колебаний уровня вод по сезонам в пределах 0—15 см, а на склоне — в отсутствии грунтовых вод в пределах почвенной толщи. Второй тип с кислым режимом, с более выраженными колебаниями во времени и радиальной контрастностью, достигающей до 1 по шкале pH, свойствен почвам части верхового болота, где pH на глубине 50 см может достигать слабокислых значений. Третий тип с кислым в целом, но нестабильным режимом и наивысшей степенью радиальной контрастности pH за счет щелочных, часто карбонатных с глубины 50—60 см нижних горизонтов проявляется на водораздельных поверхностях в почвах с хорошо развитым торфянистым горизонтом. Характерно стабильное присутствие грунтовых вод в пределах почвенного профиля с колебаниями их уровня от 15 до 50 см. Четвертый тип объединяет участки на выпуклых водораздельных поверхностях,

в логах и поймах со слабощелочным в целом, но наиболее нестабильным на трансекте режимом и на порядок более низкой степенью радиальной контрастности pH; карбонатные горизонты находятся значительно глубже. Нестабильность щелочно-кислотного режима обычно возрастает в нижних горизонтах почв (50 см) по сравнению с верхними (10 см) и средними (20 см). При этом с глубиной ширина зон больших колебаний pH (особенно летних) возрастает (рис. 2).

Существует определенная связь щелочно-кислотного режима почв и с пространственным распределением почвообразующих пород. Характерная региональная черта — многочленность пород — выражается в районе исследований в сочетании супесей или песков до глубины 20—40 см и средних или тяжелых суглинков ниже. Почвенными процессами захватываются обе толщи. Вариации механического состава почвообразующих пород на фоне типичной двучленности сводятся главным образом к различиям в мощности супесчаного горизонта. На фоне неопесчаненных суглинков хорошо выражены узкие (25—50 м) участки с линзами супесей или опесчаненных суглинков. Мощность этих линз может достигать 50—70 см. Именно к таким зонам с линзами облегченного механического состава приурочены участки повышенной нестабильности щелочно-кислотного режима и подщелачивания почв. Классификация точек наблюдения по динамике уровня грунтовых вод (УГВ) методом кластерного анализа показывает существование единой системы согласованного колебания уровня грунтовых вод на слабонаклонной в сторону верхового болота водораздельной поверхности. Она охватывает участки с принципи-

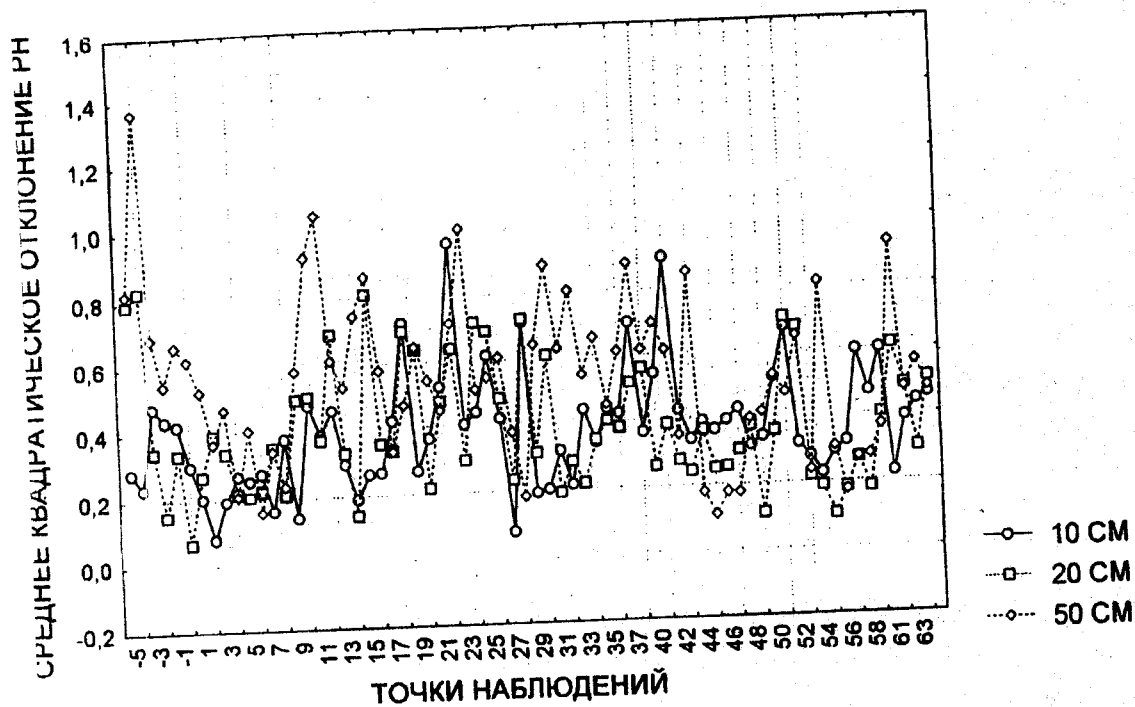


Рис. 2. Изменчивость значений pH почв по трансекту

ально различными щелочно-кислотными условиями и сочетаниями слоев почвообразующей породы, в результате чего может осуществляться латеральный обмен веществом между ними.

Значительное совпадение границ зон трансекта, выделенных по разным признакам — динамике pH, механическому составу почвообразующих пород, водному режиму, — и связь их с особенностями рельефа и растительного покрова позволяют предположить причинно-следственную зависимость между этими показателями, определяющую ландшафтную структуру. В качестве возможных причин того или иного типа динамики щелочно-кислотных условий на трансекте могут быть выдвинуты следующие гипотезы. Щелочно-кислотный режим почв и его динамика: 1) зависят от исходной карбонатности почвообразующих пород и степени ее измененности под воздействием почвенных процессов; 2) определяются зависящим от погодных условий уровнем грунтовых вод, которые имеют контакт с карбонатными коренными породами; 3) определяются воздействием продуктов разложения растительного опада.

По результатам факторного анализа подавляющая часть варьирования значений — 70% — определяется двумя независимыми друг от друга ключевыми факторами, причем на первый из них приходится 57%, а на второй — 13%. Оба фактора имеют собственные числа больше 1, что позволяет считать их достоверными. Следующий по значимости фактор определяет всего 4% дисперсии. Таким образом, динамика щелочно-кислотного режима почв определяется достаточно простой системой, причем суще-

ствует некоторый очень сильный ведущий фактор. Судя по значениям факторных нагрузок, существует процесс, зарождающийся в верхних, обычно органических горизонтах и убывающий по мере воздействия с глубиной. Второй по значимости фактор, наоборот, наиболее отчетливо проявляется в нижних горизонтах, а верхние к нему практически нечувствительны. При интерпретации физического смысла вы-

деленных факторов обнаружена четкая линейная связь второго фактора с УГВ с коэффициентом корреляции между факторными значениями и значениями УГВ за разные сезоны в пределах 0,60—0,75. Чувствительность к этому фактору нижних горизонтов согласуется с такой интерпретацией и подтверждает его литогенное происхождение. Таким образом, динамика щелочно-кислотного режима нижних горизонтов почвы частично определяется степенью воздействия на них периодически поднимающихся в пределы почвенного профиля щелочных сильноминерализованных (до 600 мг/л) грунтовых вод. Четко выделяются две группы точек наблюдения, в наибольшей степени зависящих от водного режима (с максимальными значениями второго фактора). Первая группа приурочена к верховому болоту, где в течение всего года щелочные грунтовые воды не проникают в пределы почвы и сохраняется высокое стояние кислых болотных вод. Вторая группа также связана с зоной, не затрагиваемой щелочными грунтовыми водами, но на придолинном склоне. Однако действие этого фактора ослабевает на водораздельной поверхности, где, казалось бы, грунтовые воды должны оказывать существенное воздействие на pH почв, так как постоянно находятся в пределах профиля. Но именно на этом участке его действие затухает первым фактором.

При проверке методом дисперсионного анализа гипотезы связи первого ведущего фактора динамики pH с механическим составом почвообразующих пород обнаружен факт достоверного отличия средних суглинков от супесей, легких и тяжелых суглин-

ков. Среднесуглинистые горизонты обычно характеризуются более высокими факторными значениями, что соответствует более щелочной реакции. Если исключить из анализа торфянистые горизонты, то на глубине 10 см связь первого фактора с механическим составом достоверна. На глубине 20 см среднесуглинистые горизонты имеют более высокие рН только в тех случаях, когда они подстилаются тяжелыми суглинками, что, возможно, каким-то образом связано с водоупорной ролью последних. Опосредованное через режим грунтовых вод влияние механического состава почв на рН осуществляется прежде всего в зонах разгрузки, приуроченных к участкам с линзами более легких отложений, обычно с повышенным содержанием песчаных фракций. В сухие годы наблюдается ярко выраженный по сравнению с соседними точками "провал" уровня грунтовых вод, иногда ниже почвенного профиля, а во влажные, наоборот, максимальное высокое стояние. Это противоречит ожидаемой закономерности, так как при формировании верховодки на близко залегающем к поверхности слое тяжелого суглинка ее уровень должен понижаться под действием гравитации к зонам дренирования, т.е. к линзам более легких отложений. Более высокое стояние грунтовых вод возможно лишь при напорном выдавливании. Применение метода множественной регрессии, позволяющего учесть совместное влияние нескольких переменных на исследуемую характеристику, показало, что, несмотря на существование описанной общей закономерности, механический состав почвообразующих пород сам по себе довольно слабо определяет щелочно-кислотный режим. Регрессионное уравнение зависимости рН от комплекса отложений по мощности слоев описывает дисперсии значений рН от 0% (на глубине 50 см) до 9% (20 см), а по глубине нижних границ слоев — от 3 до 9%.

В большей степени щелочно-кислотный режим определяется характеристиками рельефа. Для каждого из выявленных методами спектрального анализа циклов рельефа (с размерами 27, 33, 39, 56, 83, 187, 516 м) были рассчитаны уровень без учета тренда, степень выпуклости-вогнутости и крутизна для каждой из точек наблюдения [10]. Регрессионные уравнения зависимости среднелетних рН от этих параметров дают следующие значения точности описания (таблица). В целом степень влияния рельефа на рН можно оценить как высокую, что доказывает важную роль миграционных процессов в формировании геохимической обстановки. Обращает на себя внимание прежде всего наибольший вклад крутизны рельефа в формирование щелочно-кислотного режима, причем в общем случае возрастание крутизны склона в микрорельефе (период 27 м) и мезорельефе (516 м) способствует более кислой реакции. Большая роль крутизны по сравнению с выпуклостью-

Точность описания рН почв на трансекте параметрами рельефа. Значение R² в уравнении множественной регрессии, метод прямого пошагового выбора при F=1

Глубина, см	Уровень	Выпуклость—вогнутость	Крутизна	Уровень и крутизна	Совокупное влияние уровня, крутизны и выпуклости—вогнутости
10	9	11	25	40	57
20	11	15	24	24	65
50	3	11	34	38	64

вогнутостью говорит о влиянии интенсивности латеральной миграции почвенных растворов на рН, даже несмотря на ничтожные — в пределах 30 см — перепады высот на водораздельной поверхности. Если же учесть в уравнении регрессии характеристики механического состава и уровень грунтовых вод, то описать осредненные за 5 лет летние рН можно почти идеально — на 96% в верхнем горизонте, на 98 — в среднем и на 84% в нижнем. Сами по себе грунтовые воды в лучшем случае описывают тенденцию изменения рН в латеральном направлении, оказывая решающее влияние на рН только в нижних горизонтах. Учет уровня грунтовых вод гораздо сильнее улучшает точность описания рН в осенние периоды по сравнению с летними, когда влажность более высокая и верховодка на многих точках смыкается с грунтовыми водами. Особенно большой вклад грунтовые воды вносят в формирование геохимической обстановки в зонах подщелачивания с облегченным механическим составом отложений, в том числе и в верхних горизонтах почв. Поэтому в этих узких зонах именно грунтовые воды, выходящие близко к поверхности, скорее всего под напором, служат мощным фактором подщелачивания всего почвенного профиля.

Таким образом, совокупность абиотических условий среды, казалось бы, полностью определяет щелочно-кислотный режим почв. Однако ярко выраженное ослабление влияния основного первого фактора с глубиной заставляет предполагать более высокую значимость биогенных процессов. Так как грунтовые воды имеют контакт с коренными карбонатными породами, то следовало бы ожидать повышения рН почв в зонах разгрузки во влажные годы по сравнению с сухими. В то же время снижение скоростей фильтрации в сухие годы может способствовать росту концентрации оснований в растворах и повышению рН. В реальности происходит подкисление почв во влажные годы, в более влажные осенние сезоны и восстановление слабощелочной реакции в сухие годы и сезоны. Эта закономерность является общей для лесных почв, так как при повышении влажности усиливается образование наиболее агрессивных органических кислот [9, 11, 13]. Диапазон колебаний на трансекте составляет 1,1—1,9 единицы рН в верхних горизон-

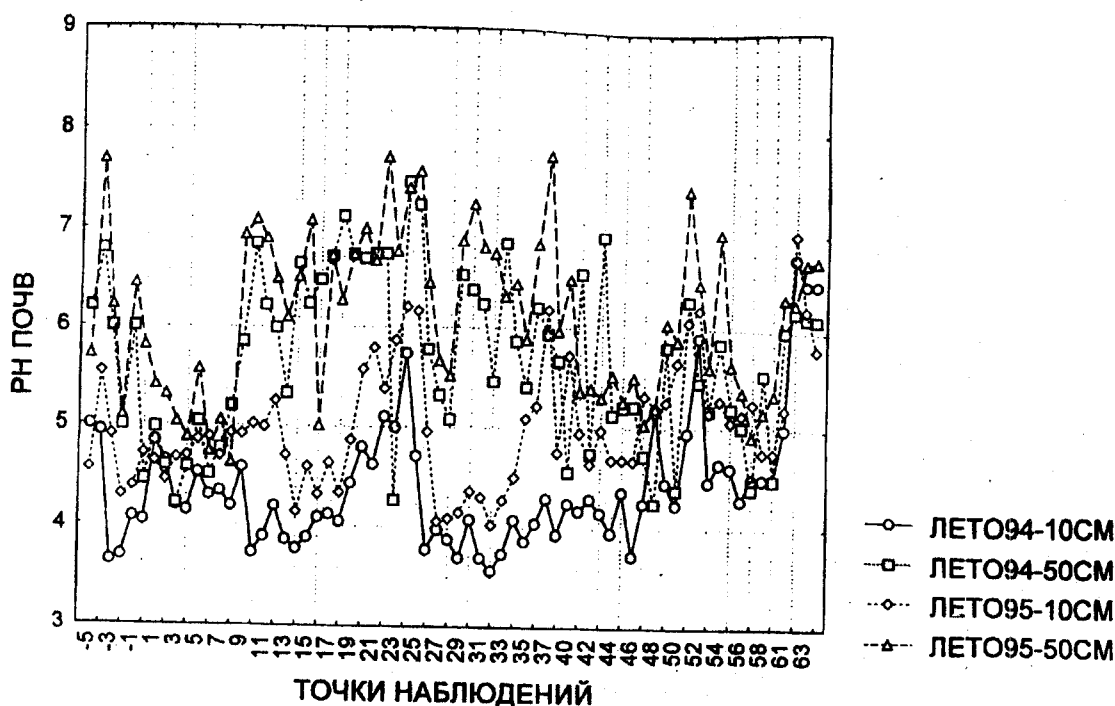


Рис. 3. Различия pH почв на глубинах 10 и 50 см между сухим (1995) и влажным (1994) годами

тах и 0,4—1,0 в нижних. Во влажные годы зоны подщелачивания почв разгружающимися грунтовыми водами выражены менее контрастно по отношению к зонам с устойчиво кислой реакцией (рис. 3). Эта тенденция доказывает более сильное воздействие биогенных факторов по сравнению с литогенными. Абиотические условия проявляются на фоне более значимых биогенных процессов. Второй же фактор можно полностью связывать с абиогенными процессами, и прежде всего с колебаниями уровня грунтовых вод.

Изменчивость щелочно-кислотной обстановки в почве определяется сочетанием условий рельефа, механического состава отложений и строения почвенного профиля, что было установлено при составлении моделей множественной регрессии для среднеквадратичного отклонения pH методом прямого пошагового выбора. Наличие мощного торфянистого горизонта сглаживает сезонные и межгодовые колебания pH, так как сфагнум является мощным индикатором и постоянным источником органических кислот, а также стабилизирует водный режим. В то же время ПТК, где торфянистый горизонт замещается дерновым или гумусовым, характеризуются нестабильным щелочно-кислотным режимом, что, возможно, связано с идущими в этих горизонтах процессами как накопления оснований, так и продуцирования органических кислот. Таким образом, слабо трансформированное органическое вещество играет стабилизирующую роль в щелочно-кислотном режиме ландшафта, в отличие от сильно трансформированного. Мощные неопесчаненные средние и

тяжелые суглинки играют роль разделителя верховодки и грунтовых вод, в зависимости от количества атмосферных осадков происходит то их медленное подкисление за счет просачивания верховодки, то восстановление более щелочной реакции. Горизонты опесчаненных суглинков обычно фиксируют каналы дренирования или разгрузки грунтовых вод, где водный режим особенно динамичен, что способствует и повышенной изменчивости pH. На-иболее стабильные щелочно-кислотные условия формируются в горизонтах, сложенных супесями и песками. К ним обычно приурочен элювиальный горизонт A2. За счет сильной ненасыщенности и свободного транзитного проникновения органических кислот с поверхности реакция на глубинах 10 и 20 см все время остается в кислом диапазоне. В то же время на глубине 50 см, т.е., как правило, в иллювиальном горизонте, при наличии мощного элювиального горизонта A2 повышается нестабильность pH. Это объясняется отсутствием в верхней части профиля насыщенной основаниями системы, в результате чего на фоне обычной нейтральной или щелочной реакции во влажные периоды pH может сильно снижаться за счет привноса неусредненных органических кислот.

Выводы.

1. Биогенные факторы вносят более существенный вклад в динамику щелочно-кислотных условий в почвах, чем литогенные. Решающую роль играет глубина фильтрации поверхностных вод, насыщенных органическими кислотами.

2. Во влажные годы и сезоны щелочные грунтовые воды оказывают более слабое воздействие на

щелочно-кислотный режим почв, чем кислые воды верховодки.

3. Щелочно-кислотный режим нижних иллювиальных горизонтов почв более изменчив по сравнению с выщележащими горизонтами и зависит от степени просачивания в глубь кислых вод верховодки.

4. Латеральная миграция почвенных растворов вносит не менее существенный вклад в формирование геохимической обстановки, чем радиальная: повышение ее интенсивности способствует подкислению почвенного профиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Апарин Б.Ф., Козлова Г.И.* Генетические и агропроизводственные особенности почв на элювии мергеля // Вестн. ЛГУ. 1982. № 6.
2. *Апарин Б.Ф.* Географические основы рационального использования почв (на двучленных породах). Спб., 1992.
3. *Гагарина Э.И.* Особенности почвообразования на карбонатных моренах: Автореф. канд. дис. Л., 1969.
4. *Горячкин С.В., Макеев А.О.* Направления таежного почвообразования: спектр мезоморфных почв Европейского Севера // Почвообразование и выветривание в гумидных и семигумидных ландшафтах. М., 1991.
5. *Карпачевский Л.О.* Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе. М., 1977.
6. *Кашанский А.Д.* Особенности генезиса подзолистых почв на двучленных наносах // Тр. X Междунар. конгресса почвоведов. Т. VI. М., 1974.
7. *Нечаева Е.И.* Кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия южнотаежных геосистем Прииртышья // Стационарные исследования метаболизма в геосистемах. Иркутск, 1979.
8. *Орлова Е.В.* Особенности генезиса, состава и свойств подзолистых почв различной степени гидроморфизма на двучленных отложениях Европейского Севера: Автореф. канд. дис. М., 1980.
9. *Певный А.А., Соколова Т.А.* Кислотно-основное состояние почв водораздельных территорий среднетаежной подзоны Республики Коми // Почвоведение. 1997. № 8.
10. *Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н., Иванов А.Н.* Анализ иерархической структуры рельефа как основы организации природно-территориального комплекса // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5, Геогр. 1997. № 5.
11. *Смирнова К.М., Громашева Б.Н.* Динамика химических свойств почв под хвойными зеленомоховыми лесами // Почвоведение. 1955. № 6.
12. *Снакин В.В., Присяжная А.А., Рухович О.В.* Состав жидкой фазы почв. М., 1997.
13. *Соколова Т.А., Дронова Т.Я., Коробова Н.Л.* О варьировании некоторых показателей кислотно-основных свойств подзолистых почв // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. М., 1992.
14. *Соколова Т.А., Дронова Т.Я., Артюхов Д.Б., Коробова Н.Л.* Пространственное и временное варьирование величин pH в подзолистых почвах Центрально-лесного биосферного заповедника // Почвоведение. 1997. № 11.
15. *Холопова Л.Б.* Динамика свойств почв в лесах Подмосковья. М., 1982.

Кафедра физической географии
и ландшафтоведения

Поступила в редакцию
05.11.98

A.V. Khoroshev, A.A. Prozorov

DYNAMICS OF ALKALI-ACID CONDITIONS IN THE SOILS OF MIDDLE TAIGA LANDSCAPES

The correlation between lithogenic and biogenic factors of alkali-acid dynamics in the soils of middle-taiga landscapes with considerable spatial and temporal difference of pH values is described. The study is based on the five-year long series of pH observations along the 1750 m long transect in the southern part of the Arkhangelsk oblast. The data were analyzed using the statistical methods. Biogenic factors are of crucial importance for pH dynamics, the influence being exerted via the temporary water infiltration into the soil. Alkali-acid regime of illuvial layers is more variable as compared to organogenic ones. The lateral migration of acid products of the organic matter decomposition also contributes significantly to the evolution of geochemical situation.