

УДК 631.41/43;502:005.936.2

ГЕНЕЗИС И МИГРАЦИЯ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ НА ДВУЧЛЕННЫХ ПОРОДАХ ЦЛГПБЗ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ

И.М. ЯШИН, Л.П. КОГУТ, И.И. ВАСЕНЕВ, Е.Б. ТАЛЛЕР, ДА. ГРАЧЕВ

(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

Рассмотрены результаты исследований по морфологии, динамике, физико-химическим свойствам, водной миграции органических веществ и ионов тяжелых металлов в дерново-подзолах на двучленных породах лесных экосистем Центрально-лесного биосферного заповедника (ЦЛГПБЗ) в Тверской области. Эколого-геохимические изыскания в режиме фоновом и оперативного мониторинга проводятся нами в ландшафтах ЦЛГПБЗ с 2011 г., а в Карелии и Архангельской области по научным грантам РФФИ с 2002-2004 гг.¹

Ключевые слова: таежные экосистемы ЦЛГПБЗ, дерново-подзолы на двучленных отложениях, фульвокислоты, низкомолекулярные органические кислоты, сорбционные лизиметры, миграция веществ, эколого-геохимическая оценка загрязнения экосистем.

Экосистемы ЦЛГПБЗ изучаются с 30-х гг. прошлого столетия. Большой вклад в познание почвенного покрова, свойств и режимов почв заповедника внесли специалисты Почвенного института им. В.В. Докучаева, МГУ им. М.В. Ломоносова, Института географии РАН, Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, сотрудники заповедника и др. [2, 4, 6, 7, 14, 17, 22, 24, 25]. С 2011 г. комплексные почвенно-экологические изыскания в ЦЛГПБЗ проводятся сотрудниками кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева по научным грантам: эмиссия CO₂, водная миграция, динамика свойств почв. Важное место отводится экологической оценке почв ЦЛГПБЗ. Она сопряжена, в частности, с диагностикой ветровалов, динамикой кислотности почв, водной миграцией и трансформацией веществ, включая и ионы тяжелых металлов (ТМ). Последние поступают из почвы в биоту (ягоды, грибы, растения), частично загрязняют также грунтовые воды и гумусовые вещества. Источниками ТМ в лесных фациях могут быть *почвообразующие и подстилающие породы*, из которых ионы ТМ сравнительно быстро достигают дневной поверхности, например, при ветровалах, создавая пока очаговое загрязнение верхних горизонтов почв [2, 7]. Масштабные ветровалы были отмечены в ЦЛГПБЗ в 1987, 1996 и 2010 гг. Несмотря на большой фактический материал, еще неполно раскрыт

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 11-04-01376 и Правительства РФ № 11.G.34.31.0079 — руководитель проф. И.И. Васенев.

генезис почв с двучленным сложением профиля, нет фактических данных о масштабах миграции веществ в почвах на двучленах, не охарактеризованы барьеры миграции почв ЦЛГПБЗ. Данной проблеме и посвящена настоящая работа.

Объекты и методы исследований

Стационарные площадки в лесных южно-таежных фациях ЦЛГПБЗ размещены в кварталах 93, 94, 96 (рис. 1-4). Территория ЦЛГПБЗ приурочена к водоразделу рек Русской равнины: Волги, Днепра и Западной Двины. Ее координаты: 56°26'-56°31' с.ш. и 32°29'-33°29' в.д. Абсолютные отметки местности варьируют от 110 до 235 м над у.м. Коренные породы — известняки. Они покрыты четвертичными отложениями: морской, водно-ледниковыми несортированными песками и покровными суглинками [24]; широко распространены двучленные породы [17, 23-25].

Для двучленов характерна *резкая смена гранулометрического состава* (в пределах первого метра) через одну или две градации: например, супеси на глубине 47-63 см подстилаются моренным тяжелым суглинком — *водоупором*, создающим устойчивое сезонное переувлажнение всего профиля (рис. 3 D). На контакте пород образуется белесо-сизый элювиально-оглеенный слой. В верхней части профиля, под лесной подстилкой, *развит интенсивно белесый подзолистый горизонт*. Его генезис связан с биогенной миграцией.

Сведения о климате представлены в работах [6, 17], информация о растительности содержится в изданиях [6, 7, 19, 26, 27]. Поэтому кратко отметим, что среди древесных пород преобладают еловые леса (примерно 40% площади заповедника), сосновые леса занимают небольшие участки. Луга представлены как пойменными, так и суходольными фациями. Много болот, которые не только служат истоками рек, но и обуславливают их химический состав (рис. 5). Нередко болота формируются при зарастании озер [19, 22, 25]. Вообще, профили почв ЦЛГПБЗ осенью и весной заметно переувлажнены, что косвенно свидетельствует о двучленности их сложения.

Рассмотрим морфологию почвы стационарного участка кв. 96 (район д. Красное, в 4,5 км на С-С-В от пос. Заповедный) (рис. 3, А-D). Плакор холмисто-увалистой моренной равнины. Фация ельника-черничника. Микрорельеф — мелкобугристо-западинный. Много валежа, вывалов, редко сломанные стволы деревьев. Прикомлевая часть спелых елей покрыта мхами, на ветвях много эпифитных лишайников (рис. 3 А). Это косвенно указывает на экологическую безопасность атмосферного воздуха. Напочвенный растительный покров — куртины черники, гипновые мхи и кислица.

Разрез 1а заложен в 2,3 м от ствола зрелой ели (рис. 3 А). В скобках индексы по классификации почв России 2004 г.

(О) A_0 — 0-1 см — слаборазвитая рыхлая лесная подстилка из веточек, хвои ели, локально гипновые мхи и листья березы, переход ясный;

(АУ) A_{hg} — 1 — 9(11) см — слаборазвитый гумусово-аккумулятивный горизонт в верхней части обогащен органогенным субстратом: влажный, светло-серый, пронизан крупными и мелкими корнями, локально угольки, супесчаный, непрочнокомковатый, слабо уплотненный, червей нет, переход постепенный;

(Е) E_h — 9(11) — 17 см — элювиальный горизонт — влажный, белесо-серый, непрочнокомковато-плитчатый, слабо уплотненный, супесчаный, *протитан ВОВ до глубины залегания корней*, редкие Fe-Mn конкреции, много мелких камней, переход заметный по цвету и плотности;

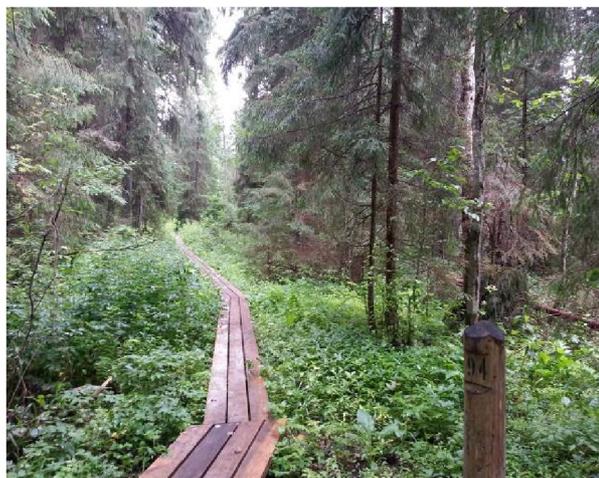


А



В

Рис. 1. Стационарная площадка в ЦЛГПБЗ («Старая вышка» — кв. 93, *плакор увала*): А — парцелла черничника сфагнового (микростапина) в фации ельника-кисличника сложного; В — профиль дерново-подзола контактно-осветленного, развитого на двучленных породах — р. 4я. Почвенный покров здесь трансформирован: быстро найти ненарушенный профиль почвы довольно сложно — кругом валеж и поломанные деревья (20.07.2013)



А



В

Рис. 2. А— один из экологических маршрутов в ЦЛГПБЗ через пойму р. Межа в сторону стационара «Старая вышка»; В — профиль аллювиальной торфяно-глеевой типичной почвы (р. 3я; кв. 94) со слоями *оглеенного аллювия и торфа* в пойме р. Межа (выкопан слева от межевого столба — фото А — в 20 м), верховодка появляется на глубине 37-43 см, быстро заполняет шурф, затрудняя его более глубокую проходку (19.07.2013)



А



В



С



Д

Рис. 3. А — кв. 96 (недалеко от д. Красное), фация ельника-черничника — аспирант Д. Грачев и ст. преп. А. Бузылев изучают профиль дерново-подзола (21.05.2011); В — проф. И.М. Яшин выбирает места закладки сорбционных лизиметров в профиле р. 1я — Д; С — для сравнения — дорога и остатки масштабного ветровала 2010 г. вблизи квартала 96; Д — крупный план профиля В: здесь элювиальный и иллювиально-железистый горизонты завуалированы компонентами ВОВ, а контактно-осветленный горизонт углубляется в тяжелый красно-бурый суглинок «заклинками» (30.09.2011); после таяния снега и активной водной миграции ВОВ элювиальный горизонт становится белесым с сероватым оттенком — «очищается» от соединений Fe

(BF) B_{fr} — 17-37 см — *трансформированный иллювиально-железистый горизонт* компонентами ВОВ — сырой, супесчаный, липкий (заилненный), среднеуплотненный, палевый со слабым серым оттенком, локально Fe-Mn темно-бурые мелкие и прочные конкреции, камни, переход ясный по цвету и плотности;

(E)EL' g — 37-56 см — *контактно-осветленный (точнее контактно-глееватый) горизонт* — сырой, плитчатый, белесый с палево-сизым оттенком, *среднесуглини-*



А



В

Рис. 4. Стационарная площадка на лугу вблизи конторы ЦЛГПБЗ (опушка ельника — нижняя 1/3 склона увала) с *дерново-палево-подзолистой грунтово-глееватой почвой* на двучленах, р. 5я: А — общий вид стационарной площадки; В — крупный план профиля той же почвы (вода сочится на контакте смены пород, а контактно-осветленный горизонт завуалирован $\text{Fe}(\text{OH})_3$); отсутствие древостоя способствует сезонному переувлажнению почвы на лугу. Рядом, в ельнике (D), профиль почвы не переувлажнен, а гор. A_1 — 9-12 см (21.07.2013)



С — крупный план верхнего элювиально-оглеенного (E_g) горизонта (что на рис. 4 А) с конкрециями Fe, Mn. Под влиянием нисходящей миграции ВОВ отмечена *диффузионная трансформация конкреций* и сезонное окрашивание подзолистого горизонта в бурый цвет. Гидрозоли $\text{Fe}(\text{OH})_3$ под «защитой» ВОВ пульсируют «вверх-вниз», маскируя в бурый цвет весь профиль почвы; так формируются сезонные ритмы миграции ВОВ и железа; D — профиль дерново-подзола на двучленах в ельнике — в 53 м от р. 5я (21.07.2013)



А



В

Рис. 5. При таянии снега (А — 16.04.2012) в лесных ландшафтах ЦЛГПБЗ компоненты ВОВ и Fe-органические комплексы, придающие ярко-бурый цвет ручьям, мигрируют повсеместно; на верховодку (под кронами деревьев и в межкروновых пространствах) влияют латеральная миграция, поверхностный сток. Летом (В — 20.07.2013) вода ручьев и мелких речушек имеет также ярко-бурый цвет; в поверхностные воды попадают наиболее активные геохимические мигранты — Fe, Al, Si и ВОВ таежных экосистем ЦЛГПБЗ: почвенные барьеры миграции, в условиях оглеения, слабо сорбируют эти соединения

стый, очень плотный, щебень и камни, корни единичные, много Fe-Mn конкреций и бурых примазок по граням структурных отдельностей, переход «языковатый», мелкие «языки» — белесые;

(D) B_{2g} — 56-84 см — *второй иллювиальный горизонт* (сорбционный минеральный барьер миграции — водоупор) — сырой, красновато-бурый, очень плотный (до *слитого*), глыбистый, тяжелый суглинок, включения камней и щебня. Глубже проходка затруднена.

От 10% раствора НС1 почва *не вскипает по всему профилю*. Грунтовые воды в конце мая 2011 г. находились на глубине 124 см, осенью 2011 — глубже 2,5 м (при бурении). Почва — дерново-подзол контактно-осветленный супесчаный на двучленных отложениях.

Разрез 4я (рис. 1, А, В), площадка — «старая вышка» в 4 км на С от пос. Заповедный, кв. 93; лес — ельник-кисличник сложный с множеством валежа и вывалов деревьев. Растительность и почвенный покров трансформированы после ураганов. Разрез заложен в западине со сфагновыми мхами и куртинами черники.

(O) A_0^T — 0-4 см — очес из живых сфагновых мхов: рыхлый, мокрый, переход ясный;

(O) A_0^{III} (O) — 4-7 (9) см — торфяно-перегнойный: мокрый, темно-серый с бурым оттенком, при сжатии в ладони комка данного горизонта сочится вода бурого цвета, мажущийся, корней очень мало, рыхлый, крупные угольки, переход резкий;

(E) E — 7 (9) - 14 (17) см — элювиальный горизонт (*транзитный барьер миграции*): сырой, ярко-белесый, рыхлый, тонкозернистый песок, отмечены тонкие и косые серого цвета миграционные «тяги», выходящие из горизонта лесной подстилки и заканчивающиеся в иллювиально-железистом горизонте; корни единичные, бесструктурный, через горизонт проходит «хвост» миграционной воронки, опускающийся в гор. BC, переход постепенный;

(BF) B_{fr} — 14 (17) - 28 (31) см — трансформированный иллювиально-железистый горизонт (*сорбционный двусторонний барьер миграции*): влажный, палево-бурый, рыхлый, тонкозернистый песок с крупными белесыми «пятнами» — деградация Fe(OH)₃ — редко Fe-Mn конкреции, а вокруг них затеки Fe(OH)₃, переход заметный по плотности и цвету;

(E)EL'g — 28 (31) - 34 (37) см — контактно-осветленный (точнее элювиально-оглеенный) горизонт: влажный, белесо-сизоватый, средне уплотненный, средний суглинок, комковато-плитчатый, редко ходы сгнивших корней, переход языковатый;

(E) EL'g/B_{2g} — 34 (37) - 41 (44) см — переходный ко второму иллювиальному горизонту: сырой, белесо-красновато-бурый, средний суглинок, очень плотный, липкий, плитчато-мелкоглыбистый, тонкие поры, много Fe-Mn конкреций и примазок по границам педов, переход языковатый;

(D) B_{2g} — 41 (44) - 87 см — иллювиальный горизонт (*второй сорбционный барьер миграции* в профиле после иллювиально-железистого горизонта): красно-бурый, очень плотный, мелко глыбистый, тяжелый суглинок, мокрый, липкий, по границам педов белесые кутаны и бурые примазки, в этом горизонте отмечены редкие белесые пятна и «языки», опускающиеся из элювиального горизонта, редко камни, переход постепенный;

BCg — 87-112 см — горизонт переходный к почвообразующей породе (*сорбционный барьер миграции*), сырой, красно-бурый, очень плотный, мелкие конкреции Fe, Mn, тяжелосуглинистый, после дождя вода появилась с глубины 112 см.

От 10% раствора HCl почва *не вскипает по всему профилю*.

Почва — подзол контактно-осветленный песчаный на двучленных отложениях. В ближайшие годы почва, возможно, трансформируется в подзол глеевый.

Подобные профили подзолов нами были выявлены и изучены на стационарах в Архангельской области — Коношский и Няндомский районы [17, 22]. Иногда такие почвы некорректно диагностируют как «белоподзолы», «белоземы». Нужно учесть, что в этих почвах ярко выражена трансформация и водная миграция соединений Fe. Но все зависит от массы ВОВ с кислотными свойствами, мобилизуемыми в раствор из оторфованных лесных подстилок и мигрируемыми в подзоле. При перераспределении Fe-органических комплексных соединений в песчаном подзоле формируется *хроматограмма мигрантов, которая заметно изменяется по сезонам года*. Изучение формы и масштаба миграции соединений Fe позволит решить и эту задачу, связанную с классификацией почв, более полно.

Нередко после вывалов елей близко к *дневной поверхности подходит иллювиальный красно-бурый горизонт*, со временем данный субстрат постепенно трансформируется новой лесной растительностью. Такие профили порой диагностируют как *буроземы*, что некорректно: на самом деле — *это трансформированные подзолы на участках ветровалов. То есть трансформированные профили почв имеются не только в аграрных, но и в лесных фациях*.

В этой связи интерес представляет *почва разреза 5я* на опушке леса, под луговой растительностью, вблизи конторы ЦЛГПБЗ. Лесной дерново-подзол контактно-

осветленный на двучленах за несколько десятилетий на лугу трансформировался в *дерново-палево-подзолистую* грунтово-глееватую почву на двучленах. В профиле имеется развитый дерновый (гумусово-аккумулятивный 13-14 см) и подзолистый (14-16 см) горизонты (рис. 4, С, D). Из-за отсутствия древостоя *избыток внутрипочвенной влаги не удаляется в атмосферу, как в лесу*, а накапливается в почве и способствует активной трансформации соединений железа (с участием ВОВ), прокрашиванию в ярко-буро-красный цвет нижних генетических горизонтов V_{fr} , $EL'g$, V_{2g} и частичному выносу продуктов почвообразования в грунтовые воды и местные базисы эрозии (вода в профиле сочится с глубины 43 см — на контакте смены пород: супеси и среднего суглинка). Так происходит *ожелезнение верховодки*, родников и мелких речушек бассейна р. Межа. Судя по растянутости буро-красного профиля и его оводненности, в нем интенсивно выражены процессы диффузии и миграции веществ: это «живая», развивающаяся почва.

Методы исследований

Были использованы полевые и лабораторные методы почвенно-экологических изысканий [7, 17-22]. Для оценки функционально-генетической диагностики почв применяли маршрутный метод, «ключей», стационарный метод (в частности, метод сорбционных лизиметров) и закладку катен. Ключевые участки выбирали на топокарте вдоль условной линии — от русла реки (в южном направлении) через пойму к плакору моренного увала. Среди лабораторных методов применялись традиционные химические и физико-химические аналоги, например, хроматография, ионометрия. Сорбционные лизиметры устанавливали в профиле на период с 30.09.2011 по 27.07.2012 гг. для оценки масштаба миграции ВОВ, уточнения их компонентного состава и учета водной миграции комплексных органоминеральных соединений микроэлементов и тяжелых металлов². Методика подготовки сорбентов, установка колонок в почву и иные методические вопросы изложены в работах [6, 7, 17].

Результаты и их обсуждение

Исследование морфологии и химических свойств (табл. 1) дерново-подзолов (и подзолов) на двучленных породах позволило выявить их яркую сезонную динамику. Другой особенностью таких почв является резкая ненасыщенность гумуса и почвенных минералов ионами щелочноземельных оснований, вследствие чего во все сроки наблюдений отмечена очень сильноокислая реакция среды и высокая гидролитическая кислотность по всему профилю. Динамика доступных форм фосфора и калия связана с биогеохимическим круговоротом веществ.

Валовое содержание микроэлементов (Zn, Си, Ni) в дерново-подзоле — низкое, что обусловлено, по-видимому, функционированием барьеров миграции — горизонтов V_g , BC_g и С на фоне очень слабого аэротехно генного загрязнения [10]. В то же время и такое незначительное содержание тяжелых металлов (ТМ) все же будет сказываться на экологической безопасности ягод, грибов и природных вод: нами отмечены очень высокие коэффициенты биогенного накопления $k_{бн}$ у ионов ТМ [17].

Сезонную динамику свойств подзолов обуславливают ВОВ, плесневые грибы-кислотообразователи, *избыток влаги по микрозападинам*, а также трансформация

² В этой работе участвовал аспирант кафедры экологии А. А. Пескарев.

**Сезонная динамика физико-химических свойств дерново-подзола
контактно-осветленного супесчаного на двучленах в 2011-2012 гг., ЦЛГПБЗ,
кв. 96. Координаты разреза: 56 28' с.ш. и 32 52' в.д.**

Горизонт и глубина отбора образцов, см	pH _{KCl}	H _r	Поглощенные основания		Содержание частиц менее 0,01 мм, %	C _{орг} по Тю- рину, %	Доступные формы, мг/кг	
			Ca ²⁺	Mg ²⁺			H ₂ PO ₄ ⁻	K ⁺
		мг · экв/100 г						
<i>Разрез 1я. Парцелла ельника-черничника разнотравного (отбор проб 21.05.2011)*</i>								
(AY) A ₁ 3–10	3,0±0,5	21,4±4,7	1,0±0,2	0,1±0,0	18,3	2,7±0,8	200±5	121±7
(E) Eh _g 20–30	3,5±0,7	12,5±2,3	0,4±0,1	0,04±0,0	16,4	1,4±0,5	8±2	78±4
(BF) B _{тп} 32–39	3,9±0,4	6,8±1,7	0,3±0,1	0,02±0,0	19,5	0,8±0,3	29±3	47±3
(E) EL' _g 39–49	4,0±0,3	4,4±0,4	0,5±0,2	0,04±0,0	30,9	0,5±0,2	100±8	25±2
(D) B _{2g} 52–62	3,5±0,4	5,0±0,3	3,30±0,8	0,7±0,1	44,7	0,4±0,1	234±11	47±3
<i>Разрез 1я. Парцелла ельника-черничника разнотравного (отбор проб 30.09.2011)</i>								
(AY) A ₁ 1–9	3,2±0,9	24,2±5,3	4,3±1,5	1,4±0,7	17,1	3,0±0,9	89±8	59±7
(E) Eh 9–17	3,4±0,8	16,9±3,6	0,7±0,4	0,3±0,1	15,6	2,3±1,1	5±1	55±3
(BF) B _{тп} 17–27	4,1±0,4	5,6±1,7	0,6±0,2	0,2±0,0	19,0	0,7±0,5	23±3	28±2
(E) EL' _g 45–55	4,0±0,3	2,8±0,9	1,0±0,5	0,3±0,0	32,7	0,4±0,1	95±8	24±2
(D) B _{2g} 67–77	3,5±0,3	4,5±0,2	2,8±0,8	0,8±0,4	43,4	0,3±0,0	165±9	44±5
<i>Разрез 1я. Парцелла ельника черничника разнотравного (отбор проб 28.07.2012)</i>								
(AY) A ₁ 2–10	2,9±0,3	22,9±0,3	0,90±0,1	0,12±0,0	—	3,3±0,6	123±5	283±7
(E) Eh 20–30	3,0±0,2	13,0±0,1	0,40±0,1	0,06±0,0	—	2,1±0,1	10±2	44±2
(BF) B _{тп} 32–38	3,4±0,4	3,4±0,2	0,30±0,0	0,03±0,0	—	1,6±0,1	87±5	18±2
(E) EL' _g 42–52	3,2±0,1	3,2±0,2	0,40±0,2	0,04±0,0	—	0,7±0,3	122±3	20±3

* В книге «Классификация почв России» (С. 101) индексы почвы даны так: AY-E-BF-E-D.

и миграция соединений Fe, Al, Mn, Si. Особую роль в вуализации профилей песчано-супесчаных подзолов и дерново-подзолов играют соединения железа [1, 4, 5, 8]. Это наглядно заметно на рисунке 4 в дерново-палево-подзолистой почве на двучленах под луговой растительностью, о чем было уже сказано. Избыток влаги здесь сохраняется долго, способствуя трансформации соединений железа и почвенных минералов. Профили подзола (рис. 1 В) и дерново-подзола на двучленах (рис. 3 D) под древесной растительностью заметно иссушены вследствие транспирации хвойными породами и очень плотные с глубины 45-57 см. Поэтому в зоне тайги (в частности, в подзо-

нах средней и северной) на вырубках наблюдается заболачивание, а подзолы трансформируются сначала в подзолисто-глеевые почвы, а затем и в болотно-подзолистые [20, 21]. В подзоне южной тайги на вырубках отмечено формирование лугов.

Т а б л и ц а 2

Динамика валового содержания ТМ в дерново-подзолах контактно-глееватых на двучленах ЦЛГПБЗ в 2011-2012 гг., мг/кг

Отбор образцов, см	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni
<i>Разрез 1я. Плакор, фация ельника-черничника (отбор образцов почвы 30.09.2011)</i>					
A ₁ 1–9	0,19±0,04	14,0±4,8	8,0±2,7	1,6±0,8	0,6±0,09
A _{1h} /E _h 9–17	0,09±0,02	6,8±1,9	15,6±4,4	1,7±0,9	2,1±0,2
B _{гг} 17–27	0,20±0,06	6,7±2,1	19,5±5,3	1,9±0,7	3,1±0,4
EL'g 45–55	0,24±0,08	3,5±0,9	15,0±4,1	2,2±0,9	4,0±0,6
B _{2g} 67–77	0,13±0,02	3,3±0,8	20,1±6,8	5,0±1,4	5,9±0,8
<i>Разрез 1я. Плакор, фация ельника-черничника (отбор образцов почвы 28.07.2012)</i>					
A ₁ 2–10	0,20±0,02	7,5±0,8	17,2±2,9	3,2±0,05	2,8±0,5
A _{1h} /E _h 20–30	0,11±0,04	5,8±1,5	0,6±0,02	2,3±0,04	2,3±0,5
B _{гг} 32–38	0,11±0,02	3,8±0,4	0,8±0,02	2,6±0,04	1,6±0,8
EL'g 42–52	0,05±0,02	2,2±0,2	1,9±0,1	1,9±0,5	1,1±0,4

Возможен еще один вариант трансформации почв ЦЛГПБЗ на двучленах, в частности, при отсутствии ярко выраженного *элювиального горизонта* в профиле дерново-палево-подзолистой грунтово-глееватой почвы на двучленах (рис. 4, р. 5я). В таком случае под гор. A₂ располагаются завуалированные гидрогелями Fe(OH)₃ горизонты B_{гг}, EL'g, B_{2g}, BC и C. Подобный однородно окрашенный профиль некоторые авторы именуют как *бурозем*, что, конечно же, противоречит как самой почве, так и процессу буроземообразования, характерному, например, для ландшафтов Карпат, и связано с внутрпочвенным оглиниванием [15, 19, 22]. Вообще, для почв с двучленным сложением профиля некорректно рассчитывать элювиально-иллювиальные коэффициенты подзолообразования; параметры оценки водного баланса такой почвы в лесу могут быть ошибочными из-за латерального привноса воды и веществ. Верхние слои мини-подзола отличаются почти провальной фильтрацией [1, 8], а контактно-осветленные и более глубокие — очень слабо сбрасывают избыток влаги, вызывая анаэробнозис подзолов и дерново-подзолов на двучленах [8].

Вынос ВОВ, по C_{орг}, наиболее эффективно изучать с помощью активированного угля в колонках (табл. 3-5). Катионит КУ-2 в H⁺-форме сорбировал небольшое количество компонентов ВОВ. Характерно, что плотного водоупора гор. B_{2g} достигают заметные массы ВОВ — 5,4 г/м² за период опыта. Среди ионов ТМ наибольшая миграция отмечена у соединений железа, максимум масштаба миграции которых

Таблица 3

Масштаб водной миграции $C_{орг}$ ВОВ, ионов микроэлементов, тяжелых металлов и кальция в дерново-подзоле контактно-глееватом на двучленах ЦЛГПБЗ (кв. 96); экспозиция 30.09.2011-25.07.2012 гг.

Горизонт и глубина установки лизиметров, см	По сорбции в колонках активированным углем (десорбция 1 н. NaOH), мг/м ² за 289 сут.							
	Cd ²⁺	Pb ²⁺	Ni ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fe ³⁺	Ca ²⁺	$C_{орг}$
(AY)A ₀ A ₁ — 9	0,02	0,70	0,11	3,0	8,0	145,0	12,0	15626,9
(E)E _{нг} — 17	0,04	2,50	0,14	2,0	5,0	60,0	11,5	12638,1
(BF)B _{гр} — 27	0,25	1,63	0,07	8,6	23,4	483,0	21,0	9376,9
(E)EL' _г — 55	0,03	2,80	0,15	2,7	6,2	165,0	4,9	5537,3
(D)B _{2г} — 77	0,07	0,90	0,11	0,6	6,2	96,0	7,9	4843,3
B _{2г} — 87	0,04	6,78	0,25	5,6	54,5	523,0	18,9	1630,6

Таблица 4

Масштаб водной миграции $C_{орг}$ ВОВ, ионов микроэлементов, тяжелых металлов и кальция в дерново-подзоле контактно-глееватом ЦЛГПБЗ (кв. 96); экспозиция 30.09.2011-25.07.2012 гг.

Горизонт и глубина установки лизиметров, см	По сорбции катионитом КУ-2 (десорбция 0,1 н. HNO ₃), мг/м ² за 289 сут.							
	Cd ²⁺	Pb ²⁺	Ni ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fe ³⁺	Ca ²⁺	$C_{орг}$
(AY)A ₀ A ₁ — 9	0,08	0,20	0,4	1,0	0	40,0	1,7	5383,3
(E)E _{нг} — 17	0,05	0,07	0,3	0,3	0	30,0	1,0	4753,7
(BF)B _{гр} — 27	0,01	0,03	0,2	1,0	2,0	53,0	0,3	4459,9
(E)EL' _г — 55	0,03	0,12	0,5	0	0	27,0	0,3	7884,3
(D)B _{2г} — 77	0,04	0,11	0,1	0	0	40,0	1,0	3391,8
B _{2г} — 87	0,09	0,14	0,3	0	0	170,0	2,0	3757,5

установлен по сорбции в колонках активированным углем. Для железа характерна высокая сезонная динамика [5-7]. На катионите КУ-2 сорбируются оксигидраты металлов микроэлементов и ТМ с положительным знаком заряда, а на активированном угле — комплексные органоминеральные вещества. Масштаб их выноса небольшой, если сравнить с Лесной опытной дачей [17, 21].

Экологическое направление в изучении почв учитывает как их сложение, свойства, так и биогеохимический круговорот органического углерода, формирование при фотосинтезе и гумификации низкомолекулярных органических кислот (НМОК), полифенолов и фульвокислот (ФК) с кислотными и иными свойствами на

Общий масштаб водной миграции $C_{орг}$ ВОВ, ионов микроэлементов, тяжелых металлов и кальция в дерново-подзоле контактно-глеватом на двучленах ЦЛГПБЗ (кв. 96); экспозиция 30.09.2011-25.07.2012 гг.

Горизонт и глубина установки лизиметров, см	По сорбции сорбентами в колонках, мг/м ² за 289 сут.							
	Cd ²⁺	Pb ²⁺	Ni ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fe ³⁺	Ca ²⁺	$C_{орг}$
(AY)A ₁ — 9	1,0	2,3	1,5	4,0	8,0	185,0	13,7	21010,2
(E)E _{hg} — 17	0,9	3,2	1,7	2,3	5,0	90,0	12,5	17391,8
(BF)B _{fr} — 27	2,6	2,0	0,9	9,6	25,4	536,0	21,4	13836,8
(E)EL' _g — 55	0,6	4,0	2,0	2,7	6,2	191,0	5,2	13421,6
(D)B _{2g} — 77	1,1	2,0	1,3	0,6	6,2	136,0	8,9	8235,1
B _{2g} — 87	1,3	8,2	2,8	5,6	54,5	693,0	20,9	5388,1

уровне экосистемы с участием плесневых грибов-кислотообразователей (Penicillium...) [2, 4, 10]. В этой связи рассмотрим экспериментальный материал по миграции ВОВ, микроэлементов и ТМ в профиле дерново-подзола на двучленах (кв. 93).

Примечательно, что при нисходящей водной миграции у соединений железа, цинка и меди в дерново-подзолах на двучленах установлено два максимума выноса: один из гор. B_{fr} (иллювиально-железистого трансформируемого), а другой — из иллювиального горизонта B₂ — водоупора. Во втором случае сорбционные лизиметры были заложены под одну из немногих магистральных трещин белесого цвета, уходящих до почвообразующей породы. По ней и происходит, на наш взгляд, сброс влаги и мигрантов. Подобное перераспределение не выявлено для компонентов ВОВ: отмечено резкое уменьшение их масштаба миграции в супесчаном миниподзоле — с 21,0 г/м² из лесной подстилки до 5,4 г/м² $C_{орг}$ из-под горизонта B_{2g} (87 см). Масштабы водной миграции ионов кадмия, свинца и никеля — низкие.

Ионы кадмия (Cd²⁺) были сорбированы, по-видимому, в предыдущие циклы почвообразования на и ллювиально-железистом барьере миграции, а в настоящее время нами и отмечен их небольшой вынос в форме кадмийорганических соединений по сорбции на активированном угле, а также в форме положительно заряженных оксигидратов — по сорбции на катионите КУ-2. Свинец и медь мигрируют главным образом в форме комплексных органоминеральных соединений, что отмечено по сорбции этих элементов в колонках с активированным углем.

Использование специалистами вакуумных лизиметров для оценки концентрации ионов алюминия, железа, кремния в почвенных растворах и природных водах экосистем может привести к ошибочным результатам. Дело в том, что через керамическую мембрану вакуумного лизиметра проникают (как и через свечу Шамберлена) только ионы и молекулы. Коллоидные формы Fe, Al, Si налипают на поверхности керамической трубки и оказываются неучтенными. А они составляют значительную массу мигрантов в таежных подзолах при лессиваже [5, 17-22]. Применение специалистами «лизиметров — накопителей» почвенной влаги (лизиметры Шиловой

и Дерома) в лесных подзолах также приводит к артефактам. В таких «почвенных аквариумах» происходит активная биодegradация ВОВ и органоминеральных соединений, а в приемных бутылках накапливаются минеральные соли и газы, искажающие реальные формы и масштабы миграции железа, кальция, микроэлементов, ионов ТМ, а также ВОВ. Последние частично образуют бурые сгустки (гели), прочно налипающие на стенки и дно сосудов. Подобный эффект наблюдался нами в конце августа 1967 г.³ после откачки лизиметрических вод в почвах, развитых на ленточных глинах (правый берег р. Суна, вблизи водопада Кивач, Карелия). Лизиметрические воды были подобны «шипучке» — газированной воде в бутылке. Анализы показали, что в ней почти нет $C_{\text{орг}}$ ВОВ, хотя присутствовали соли — бикарбонаты, сульфаты, нитраты, а также катионы K^+ , Ca^{2+} . План данного полевого опыта с лизиметрами Шиловой, очевидно, был согласован с И.С. Кауричевым, чтобы сравнить работу подобных водосборных устройств с сорбционными лизиметрами. Последние, в известной мере по функциям, являются микромоделями горизонтов почвы.

Выводы

1. Исследованы морфология и сезонная динамика физико-химических свойств дерново-подзола контактно-осветленного супесчаного на двучленах. В двучленных породах (в пределах метра) наблюдается смена гранулометрического состава горизонтов: супеси сменяются тяжелыми суглинками, заметно ухудшающими фильтрацию влаги. На контакте смены пород образуется элювиально-оглеенный горизонт.

2. Почву отличает очень сильноокислая реакция среды ($pH_{\text{кел}}$ по сезонам года варьирует по профилю в пределах 3,2-4,1) вследствие не насыщенности щелочно-земельными основаниями и устойчивой мобилизации в раствор ВОВ, очень высокая гидролитическая кислотность по всему профилю (4,2-21,4 мг-экв /100 г), а также низкое содержание доступных форм фосфора и калия. Валовое содержание ТМ и микроэлементов в изучаемых почвах — низкое.

3. Установлен активный нисходящий вынос компонентов ВОВ во всем профиле лесного дерново-подзола (например, из гор. A_2 он составил 21,0 г/м²), что связано с супесчаным составом почвы, низкой емкостью поглощения и сезонной оглеенностью барьеров миграции профиля.

4. Сезонное переувлажнение почв на двучленных породах усиливает мобилизацию в раствор компонентов ВОВ из опада и лесных подстилок, способствуя подкислению и более активной трансформации почвенных минералов, коллоидов и гумусовых веществ. Вследствие чего отмечен активный вынос соединений железа, составляющий из трансформированного гор. $B_{\text{гг}}$ — 536, а из гор. B_2 — 693 мг/м². Основная масса ионов Fe была сорбирована в колонках активированным углем.

5. Метод сорбционных лизиметров позволяет эффективно исследовать масштаб водной миграции ВОВ и их состав (по сорбции на угле). С помощью ионообменных

³ С 15.05.1967 по 17.09.1967 г. И.М. Яшин проходил учебную полевую практику по почвоведению (после 3-го курса) по рекомендации проф. И.С. Кауричева в заповеднике «Кивач» в составе экспедиции Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева, которой руководила ст. науч. сотр. Е.Н. Руднева; при ее участии и были установлены лизиметры Шиловой — лотки и 20-литровые бутылки — приемники лизиметрических вод. В 1971-1972 гг. И.М. Яшин проводил здесь опыты по изучению состава ВОВ с сорбционными лизиметрами [17]. 3 декабря 2013 г. исполнилось 100 лет со дня рождения профессора И.С. Кауричева.

смог удастся выявить формы миграции микроэлементов и ионов ТМ в почвах. Масштаб миграции микроэлементов и ионов ТМ в изучаемой почве — небольшой. Ионы ТМ мигрируют и в форме устойчивых комплексных органоминеральных соединений, которые менее токсичны, чем их минеральные соли.

Библиографический список

1. *Апарин Б.Ф., Рубилин Е.В.* Особенности почвообразования на двучленных породах северо-запада Русской равнины. Л.: Наука, 1975. 195 с.
2. *Васенев И.И., Таргульян В.О.* Ветровал и таежное почвообразование (режимы, процессы, морфогенез почвенных сукцессий). М.: Наука, 1995. 247 с.
3. *Герасимов И.П.* Геоморфологические наблюдения в Центральном-лесном заповеднике // Архив ЦЛГЗ — неизданная рукопись: Труды ЦЛГЗ. 1941. Вып. 3. С. 341 — 364.
4. *Зайдельман Ф.Р.* Теория образования светлых кислых элювиальных горизонтов почв и ее прикладное значение. М.: КРАСАНД, 2010. 248 с.
5. *Карпухин А.И., Яшин И.М., Черников В.А.* Формирование и миграция комплексов водорастворимых органических веществ с ионами тяжелых металлов // Известия ТСХА. 1993. Вып. 2. С. 107-126.
6. *Кауричев И.С., Яшин И.М., Черников В.А.* Эколого-биогеохимические закономерности гумусообразования в почвах таежных ландшафтов // Известия ТСХА. 1997. Вып. 1. С. 63-82.
7. *Кауричев И.С., Яшин И.М., Черников В.А.* Теория и практика метода сорбционных лизиметров в экологических исследованиях. М.: МСХА, 1996. 144 с.
8. *Кашанский А.Д.* Подзолистые почвы на двучленных наносах Европейского Севера СССР // Сб. Современные почвообразовательные процессы. М.: ТСХА, 1974. С. 112-135.
9. *Лукина Н.В., Никонов В.В.* Кислотность и химический состав почвенных вод подзолов Al-Fe гумусовых сосновых лесов в условиях аэротехногенного загрязнения // Почвоведение. 1995. № 7. С. 879-891.
10. Многолетние процессы в природных комплексах заповедников России: Материалы Всерос. науч. конференции, посвященной 80-летию ЦЛГПБЗ, 20-24 августа 2012 г. Великие Луки, 2012. 416 с.
11. *Пукинская М.Ю.* Атлас растений ЦЛГПБЗ. М.: Изд-во «Деловой мир», 2009. 276 с.
12. *Рябошапка А.Г., Брюханов П.А., Брускина И.М.* Мониторинг атмосферного трансграничного переноса загрязняющих веществ на территории ЦЛГПБЗ // Сб. Труды ЦЛГПБЗ. Великие Луки, 2007. Вып. 5. С. 354-362.
13. *Соколов Н.Н.* Рельеф и четвертичные отложения Центрально-лесного заповедника // Ученые зап. ЛГУ Сер. геогр. наук. 1949. № 6. С. 14-39.
14. *Строганова М.Н., Урусевская П.С., Шоба С.А., Щитихина Л.С.* Морфогенетические свойства почв ЦЛГПБЗ, их диагностика и систематика // Сб. Генезис и экология почв Центрально-лесного государственного заповедника. М.: Наука, 1979. С. 18-53.
15. *Тишков А.А.* Биосферные функции природных экосистем России. М.: Наука, 2005. 309 с.
16. *Яшин И.М.* Взаимодействие гидроксида железа, препаратов гуминовых кислот и доломита с водорастворимыми органическими веществами подзолистых почв // Известия ТСХА. 1991. Вып. 5. С. 46-61.
17. *Яшин И.М.* Мониторинг процессов миграции и трансформации веществ в почвах. М.: РГАУ-МСХА, 2013. 183 с.
18. *Яшин И.М., Карпачевский Л.О.* Экогеохимия ландшафтов. М.: РГАУ-МСХА, 2010. 224 с.
19. *Яшин И.М., Кащенко В.С.* Миграция водорастворимых органических веществ в супесчаных глееподзолистых почвах Севера европейской части СССР // Известия ТСХА. 1986. Вып. 6. С. 59-71.

20. Яшин И.М., Мухин Е.В., Карпунин А.М. Эколого-геохимическая характеристика почв лесных и лесопарковых ландшафтов низовья р. Сев. Двины // Известия ТСХА. 2004. Вып. 4. С. 19-37.
21. Яшин И.М., Сердюкова А.В., Петухова А.А., Грачев Д.А. Изучение миграционных потоков тяжелых металлов для диагностики загрязнения таежных экосистем // Известия ТСХА. 2012. Вып. 2. С. 20-31.
22. Яшин И.М., Кашианский А.Д., Петухова А.А., Когут Л.П. Ландшафтно-геохимическая диагностика почв Европейского Севера России: Монография. М.: РЕАУ-МСХА, 2012. 158 с.
23. Bodenkundliche Kartieranleitung. Fachliche Redaktion: H. Sponagel (Leitung), W. Grotenthaler u.a. Hannover, 2005. 438 p.
24. Blume, H.-P. Handbuch des Bodenschutzes — Bodenökologie und -belastung, vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. 1992. 794 p.
25. Eckelmann, W. Soil Information for Germany. 2004.
26. Hintermaier-Erhard, G., Zech, W. Wörterbuch der Bodenkunde — Systematik, Genese, Eigenschaften, Ökologie und Verbreitung von Boden. Stuttgart, 1997. 338 p.
27. Rehfuess, K. E. Waldboden — Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. Hamburg und Berlin, 1990. 294 p.

GENESIS AND MIGRATION OF SUBSTANCES IN SOILS FORMED
ON BINOMIAL PARENTAL ROCKS IN CENTRAL FOREST BIOSPHERE
RESERVE IN TVER REGION

I.M. YASHIN, L.P. KOGUT, I.I. VASENEV, E.B. TALLER, D.A. GRACHEV

(RSAU-MAA named after K.A. Timiryazev)

The article contains the results of studies on morphology, dynamics of physical and chemical properties, migration of organic substances and heavy metal ions with water flow in sod-podzolic soils formed on binomial parental rocks in forest ecosystems of the Central Forest Biosphere Reserve (CFBR) in Tver region. Ecological and geochemical surveys, background and operational monitoring are carried out by the authors in the landscapes of CFBR starting from 2011. The same investigations are performed in Kareliya and Arkhangelsk region from 2002-2004 in the framework of research grants provided by RFBR.

Key words: boreal forest (taiga) ecosystems of CFBR, sod-podzolic soils formed on binomial sediments, fulvic acids, low-molecular weight organic acids, sorption lysimeters, migration of substances, ecological and geochemical estimation of ecosystems pollution.

Яшин Иван Михайлович — д. б. н., проф. кафедры экологии РЕАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел. (499) 976-45-60; e-mail: ivan.yashin2012@gmail.com).

Когут Любовь Петровна — асп. кафедры экологии РЕАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева (127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел. (499) 976-45-60; e-mail: luiba-18.01@mail.ru).

Таллер Евгений Борисович — доц. кафедры экологии РЕАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел. 8 (909) 686-08-41).

Грачев Дмитрий Александрович — мл. науч. сотр. лаборатории агроэкологического мониторинга кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел. (499) 976-45-60; e-mail: dmitry.bigbrain@gmail.com).

Васнев Иван Иванович — д. б. н., проф., зав. кафедрой экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел. (499) 977-04-86; e-mail: iwasenev@gmail.com).

Yashin Ivan Mikhailovich — Doctor of Biological Sciences, professor of the department of ecology, RSAU-MAA named after K.A. Timiryazev (127550, Moscow, Timiryazevskaya street, 49; tel. (499) 976-45-60; e-mail: ivan.yasliin2012@gmail.com).

Kogut Lyubov Petrovna — PhD student of the department of ecology, RSAU-MAA named after K.A. Timiryazev (127550, Moscow, Timiryazevskaya street, 49; tel. (499) 976-45-60; e-mail: luiba-18.01@mail.ru).

Taller Evgeny Borisovich — PhD in Agriculture, associate professor of the department of ecology, RSAU-MAA named after K.A. Timiryazev (127550, Moscow, Timiryazevskaya street, 49; tel. 8 (909) 686-08-41).

Grachev Dmitry Aleksandrovich — junior research assistant of the laboratory of agro-ecological monitoring, ecosystem modeling and prediction, department of ecology, RSAU-MAA named after K.A. Timiryazev (127550, Moscow, Timiryazevskaya street, 49; tel. (499) 977-04-86; e-mail: dmitry.bigbrain@gmail.com).

Vasenev Ivan Ivanovich — Doctor of Biological Sciences, professor, head of ecology department, head of the laboratory of agro-ecological monitoring, ecosystem modeling and prediction, RSAU-MAA named after K.A. Timiryazev (127550, Moscow, Timiryazevskaya street, 49; tel. (499) 977-04-86, e-mail: vasenev@timacad.ru; iwasenev@gmail.com).