

УДК: 504.54 + 631.042

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЧВЕННОЙ БИОГЕННОЙ КИСЛОТНОСТИ НА ПОДЗОЛООБРАЗОВАНИЕ*

И.М. ЯШИН¹, И.И. ВАСЕНЕВ¹, Р. ВАЛЕНТИНИ², А.А. ПЕТУХОВА¹, Л.П. КОГУТ¹

(¹ РГАУ-МСХА имени КА. Тимирязева;² Университет Туша, Италия)

Рассмотрены и обобщены сведения о формах почвенной биогенной кислотности на примере изучения подзолов на двучленах и таежных экосистем Центрально-лесного биосферного заповедника (ЦЛГПБЗ) в Тверской области, Лесной опытной дачи (ЛОД) РГАУ-МСХА имени КА. Тимирязева (г. Москва) и стационара в таежном лесопарке Петрозаводска. Мониторинг форм кислотности проводится авторами с 2002 по 2012 гг.

Отмечено, что при изучении кислотности существуют два научных направления: химическое и почвенно-экологическое. Первое охватывает почвы аграрных экосистем и предопределяет регулирование кислотности путем известкования. Почвенно-экологическая оценка связана с диагностикой биогенной кислотности таежной экосистемы и учитывает биогеохимический круговорот органического углерода, формирование при фотосинтезе и гумификации низкомолекулярных органических кислот (НМОК), полифенолов и фульвокислот (ФК). Оценку биогенной кислотности осуществляли путем изучения водной миграции ВОВ с кислотными свойствами. Для этого использовали метод сорбционных лизиметров (МСП). Установлено, что дерново-подзолы старовозрастных посадок лиственницы и сосны Лесной опытной дачи и ЦЛГПБЗ, а также подзолы стационара «Петрозаводский» отличаются наиболее высокими значениями H^+ и актуальной кислотности. Этот факт генетически связан с мобилизацией в раствор ВОВ и ФК с кислотными свойствами. Вынос соединений Fe, Al из верхних горизонтов подзолов наблюдается после заметного обеднения минералов ионами кальция и магния. Поверхностное оглеение дерново-подзолов сопряжено с внутрипрофильным глееобразованием (на контакте смены пород) и активизирует латеральный вынос ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , а также Fe^{3+} , Al^{3+} при участии ВОВ. В дерново-подзолах ЛОД вынос ВОВ из горизонта A_0 достигает $24 \text{ г/м}^2 C_{орг}$ за осенний период (это один главных пиков миграции), а из горизонта A^{TM} стационара «Петрозаводский» — $16-21 \text{ г/м}^2$.

Ключевые слова: кислотность, подзолы и дерново-подзолы на двучленах, сорбционные лизиметры, трансформация соединений алюминия, водорастворимые органические вещества с кислотными и комплексобразующими свойствами.

В настоящее время при изучении почвенной кислотности существуют два научных направления: химическое и почвенно-экологическое. Первое охватывает в основном почвы аграрных экосистем и предопределяет регулирование кислотности путем известкования. При этом ведущую роль в формировании кислотности специалисты отводят ионам водорода и алюминия. Источником ионов водорода считаются

* Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ (инициативный № 02-04-48791; экспедиционный № 02-04-63043 —руководитель проф. И.М. Яшин) и частично по грантам РФФИ № 11-04-01376 и Правительства РФ № 11.634.31.0079 — руководитель проф. И.И. Васенев.

гумусовые вещества почвы [1, 2, 6, 11]. Почвенно-экологическая оценка связана с диагностикой биогенной кислотности таежной экосистемы. Это научное направление учитывает биогеохимический круговорот органического углерода, формирование при фотосинтезе и гумификации низкомолекулярных органических кислот (НМОК), полифенолов и фульвокислот (ФК) с кислотными и иными свойствами на уровне экосистемы с участием плесневых грибов-кислотообразователей (*Penicillium...*) [10]. Кислотный механизм адаптации таежной биоты назван исследователями «биогенным кислотообразованием» [16, 17, 25]. Причем еще в 1989 г. Е.Н. Мишустин писал о необходимости активизации биологического направления в почвенных исследованиях [18]. Несмотря на имеющийся фактический материал, еще недостаточно раскрыта взаимосвязь биогенной кислотности экосистем тайги и кислотности почв. Данной проблеме и посвящена настоящая работа.

Объекты и методы исследований

Стационарная площадка Лесная опытная дача — ЛОД расположена в лесопарковом массиве РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева г. Москвы. Она включает почвенно-экологическую катену в квартале 7 плакор — пологий склон холма южной экспозиции (рис. 1) — подошва склона холма. Почвы катены — дерново-подзолы контактно-глееватые супесчаные на двучленных отложениях в сосняках-лиственничных с подростом клена [32]. Географически ЛОД расположена в пределах моренной равнины, которая занимает территорию с абсолютными отметками высот 165-175 м над у.м. с координатами 55°82' с.ш. и 37°56' в.д. [8]. Обстоятельные лесотаксационные исследования насаждений и картирование почв по кварталам ЛОД выполнены В.Д. Наумовым, А. Н. Поляковым [19] и В.И. Савичем [23]. Исследование почв и фаций ЛОД нами проводилось в весенне-летние и осенние сезоны 2001-2004 гг., затем в 2008-2012 гг.¹. Полученные сведения приведены, в частности, в работе [30].



а



б

Рис. 1. Фация сосняка-лиственничного в кв. 7 ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (середина склона холма): а — проф. И.М. Яшин изучает профиль подзола в мае 2006 г.; б — установка сорбционных лизиметров аспирантом А.А. Петуховой 10 июля 2012 г.

¹ В исследованиях и опытах на других стационарах принимали участие аспиранты и студенты-дипломники кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.



а



б

Рис. 2. Фация ельника-черничника зеленомошного в кв. 95 ЦЛГПБЗ: а — проф. И.И. Васенев (у нивелира) проводит привязку стационара в кв. 95 (29.09. 2011 г.); б — проф. И.М. Яшин устанавливает сорбционные лизиметры (СП) в профиль подзола (30.09.2011 г.)



а



б

Рис. 3. ЦЛГПБЗ: а — отбор талых вод ст. преподавателем Т.М. Джанчаровым вблизи кв. 95 для диагностики качества воды и состава ВОВ (17.04.2012 г.); б — отбор проб воды из реки Межа ассистентом А.В. Бузылевым (на заднем плане) и аспирантом Д.А. Грачевым (21.05.2011 г.)

Стационарная площадка в ЦЛГПБЗ находится в 95 квартале, примерно в 4,4 км к северо-востоку от центральной усадьбы (в деревне Б. Федоровское), в фации ельника-черничника-зеленомошного на плакоре увала с ярко выраженным микро-рельефом (рис. 2). ЦЛГПБЗ удален на 34 км от г. Нелидово Тверской области и на 354 км от Москвы. Залесенные увалы, гряды и холмы, с абсолютными отметками 230-270 м над у.м., чередуются с болотными массивами, заочкаренными луговинами, небольшими вырубками и ветровалами; аграрных фаций очень мало, что привлекает для хищных зверей [14]. Речная сеть, например р. Межа, имеет слабо врезаемые русла, поймы заболочены. Вода рек и ручьев отличается интенсивно бурым цветом круглый год (рис. 3), содержит различные компоненты ВОВ [13]. Грунтовые воды (на плакорах) залегают близко к дневной поверхности — 1,7-2,3 м. В период дождей в подзолах на двучленах быстро формируется верховодка, усиливающая оглеение профилей почв и мобилизацию ВОВ; границы переходов между горизон-

тами диффузионно-размытые; активна латеральная форма миграции. Отбор проб почвы, растительного опада и мхов проводился по сезонам — в мае, июле и сентябре 2011 г., а также 16-18 апреля 2012 г. (снежный покров достигал мощности 29-34 см).

Стационарная площадка в таежном лесопарке Петрозаводска располагается на пологом склоне мореного увала южной экспозиции (район Перевалки, ул. Университетская). Вблизи находятся крупная транспортная развязка и автозаправочная станция; строится супермаркет; таким образом фации испытывают усиливающееся химическое загрязнение. Почвенно-экологическая катена «Петрозаводская» включает следующие фации: на плакоре — ельник-мертвопокровный с ненарушенными подзолами на двучленах; в средней части склона увала (западина, вырубка в черничнике-сфагновом с трансформированным подзолом глеевым — рис. 4 а); и в нижней трети склона увала в ельнике-черничнике зеленомошном на подзоле глеевом трансформированном. Почвенно-экологический мониторинг здесь проводится с 2002 по 2012 г. На «ключках» катены, в профилях подзолов, были установлены сорбционные лизиметры. Изучаемый таежный лесопарковый ландшафт претерпел вырубки и активно посещается людьми: отмечены тропинки, остатки кострищ и мелкий мусор. Люди здесь собирают грибы, ягоды; рядом находится дачный поселок. В 2012 г. (в сезон дождей) некоторые крупные муравейники были покинуты муравьями: они перебрались из глубины лесопарка к опушкам.

Ранее нами были изучены состав гумуса и химические свойства подзолов на двучленах [31].



Рис. 4. Стационарная площадка «Петрозаводская» в Карелии: а — установка сорбционных лизиметров аспирантом А.А. Петуховой: фация черничника-сфагнового (вырубки — западина), 14.07.2011; б — для сравнения — профиль подзола в 2002 г. через 2 года после вырубки: начало трансформации гидрогелей гидроксида железа в горизонте В, (подзол эволюционирует в болотно-подзолистую почву), 26.07.2002 г.

Оценку биогенной кислотности таежной экосистемы осуществляли путем изучения миграционных потоков ВОВ с кислотными свойствами. Для этого был использован метод сорбционных лизиметров (МСЛ) [16, 17, 26, 29, 30]. Сорбционные лизиметры располагали обычно под основными генетическими горизонтами почв, развитых на двучленных бескарбонатных отложениях. После заданного срока рабо-

ты СЛ извлекали из профиля, в лаборатории сорбенты высушивали и взвешивали. Затем проводили десорбцию химических элементов ($C_{орг}$, Fe, Pb...) из сорбентов в статике: из катионита КУ-2 в H^+ форме — 1н. раствором HNO_3 , а из низкозольного активированного угля — 0,1н. раствором NaOH, водой до появления бесцветных порций фильтрата. Данный сорбент активно сорбирует низкомолекулярные органические кислоты (НМОК), уроновые кислоты, аминокислоты и полифенолы, а также фульвокислоты (ФК) [17, 27, 29]. Загрязнение таежных экосистем рассчитывали по авторской методике на основе экспериментальных данных [31]. Ионы тяжелых металлов (ТМ) определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС-3 (Германия), используя для настройки стандартные растворы. Коэффициент миграции $\kappa_{миг}$ — по Перельману [29-31]; содержание органического углерода — по методу Тюрина с фотометрическим окончанием; актуальную кислотность почв (рН водной вытяжки) и обменную кислотность (в солевой вытяжке 1М KCl) — потенциометрически на рН-метре; гидролитическую кислотность — по Каппену с 1М CH_3COONa ; ионы Al^{3+} — по Соколову [4]. Достоверность результатов опытов проанализирована с помощью метода вариационной статистики [8].

Результаты и их обсуждение

Почвенный покров и особенности ландшафтов стационарных площадок изучены довольно обстоятельно [7, 8, 14, 20, 24, 29, 31], в меньшей мере — генезис подзолов, развитых на двучленных отложениях, и биогенная кислотность экосистем. В связи с этим изучены динамика физико-химических свойств, формы кислотности и водная миграция ВОВ в дерново-подзолах на двучленах ЦЛГПБЗ, ЛОД и подзолов стационара «Петрозаводский» (табл. 1-4). Установлено, что гидролитическая кислотность дерново-подзолов ЦЛГПБЗ, ЛОД и стационара «Петрозаводский» по сезонам года характеризуются высокими значениями по всему профилю (с максимумом в лесных подстилках и ложном гумусово-аккумулятивном горизонте). Подобную закономерность ранее отмечали другие авторы [3, 8, 13, 14, 20, 24]. Но они не объясняли механизмы реакций кислотообразования и специфику функционирования таежных экосистем [29]. Рассмотрим кратко эти вопросы.

Известно, что обменная кислотность имеет сложную природу, и ее оценка до сих пор выполнена недостаточно полно. Считается, что эта форма кислотности почв обусловлена обменными катионами водорода и алюминия почвенных коллоидов и минералов [1, 6, 12, 15]. С.Н. Алешин, например, считал [1], что обменная кислотность обусловлена ионами водорода, а роль ионов алюминия вторичная, связанная с сопутствующими реакциями трансформации соединений алюминия при взаимодействии с водным раствором нейтральной соли:



Хлорид алюминия, являющийся солью сильной кислоты и слабого основания, подвергается кислотному гидролизу в растворе по формуле:



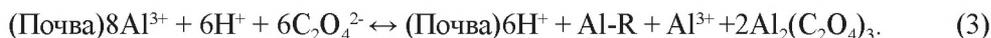
Этим и объясняется, по мнению ученого, очень кислая реакция солевых вытяжек в модельных опытах из подзолистых почв. Уместно отметить, что данная трактовка обменной кислотности правомерна для почв агроландшафтов таежной зоны. Для нативных почв и экосистем тайги ситуация оказывается иной.

Сезонная динамика физико-химических свойств дерново-подзола контактно-глеватого, развитого на двучленных отложениях, ЦЛГПБЗ, кв. 95

Горизонт* и глубина отбора образцов, см	pH _{кел}	H _t	Поглощенные основания		Содержа- ние частиц менее 0,01 мм, %	C _{орг} по Тюрину, %	Доступные формы, мг/кг	
			Са ²⁺	Mg ²⁺			Н ₂ РO ₄	К ⁺
<i>Разрез 1-ЯТ. Парцелла ельника-черничника разнотравного (отбор проб 21.05. 2011 г.)</i>								
A ₀ /A ₁ 1–9	3,0 ± 0,5	21,4 ± 4,7	1,0 ± 0,2	0,1 ± 0,0	18,3	2,7 ± 0,8	200 ± 50	1210 ± 70
Eh ₉ 9–17	3,5 ± 0,7	12,5 ± 2,3	0,4 ± 0,1	0,04 ± 0,0	16,4	1,4 ± 0,5	80 ± 20	780 ± 40
B _{тп} 17–27	3,9 ± 0,4	6,8 ± 1,7	0,3 ± 0,1	0,02 ± 0,0	19,5	0,8 ± 0,3	290 ± 30	470 ± 30
EL ₉ 45–55	4,0 ± 0,3	4,4 ± 0,4	0,5 ± 0,2	0,04 ± 0,0	30,9	0,5 ± 0,2	1000 ± 80	250 ± 20
B _{2g} 67–77	3,5 ± 0,4	5,0 ± 0,3	3,23 ± 0,8	0,7 ± 0,1	44,7	0,4 ± 0,1	2340 ± 110	470 ± 30
<i>Разрез 1-ЯТ. Парцелла ельника-черничника разнотравного (отбор проб 30.09. 2011 г.)</i>								
A ₀ /A ₁ 3–10	3,2 ± 0,9	24,2 ± 5,3	4,3 ± 1,5	1,4 ± 0,7	17,1	3,0 ± 0,9	890 ± 80	590 ± 70
Eh 20–30	3,4 ± 0,8	16,9 ± 3,6	0,7 ± 0,4	0,3 ± 0,1	15,6	2,3 ± 1,1	50 ± 10	550 ± 30
B _{тп} 32–39	4,1 ± 0,4	5,6 ± 1,7	0,6 ± 0,2	0,2 ± 0,0	19,0	0,7 ± 0,5	230 ± 30	280 ± 20
EL ₉ 39–49	4,0 ± 0,3	2,8 ± 0,9	1,0 ± 0,5	0,3 ± 0,0	32,7	0,4 ± 0,1	950 ± 80	240 ± 20
B _{2g} 52–62	3,5 ± 0,3	4,5 ± 0,2	2,8 ± 0,8	0,8 ± 0,4	43,4	0,3 ± 0,0	1650 ± 90	440 ± 50

* индексы почвенных горизонтов [см. 32].

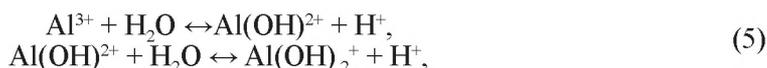
Накопленный материал показывает, что алюминий в почвах тайги может находиться в форме обменных ионов, аквакомплексов, гидрозолей гидроксида алюминия и алюмо-органических комплексных соединений [4-6, 12, 15, 18, 22]. В реакциях (1,2) образуются продукты, неадекватные природным экосистемам. Опытным путем в экосистемах тайги были найдены реагенты, соответствующие функционирующим таежным почвам. Ими являются низкомолекулярные ВОВ кислотной природы, которые и определяют мобилизацию в раствор ионов Al^{3+} из твердой фазы почв [5, 10, 13, 16-18, 25-31] по схеме:



В реакции (3) с раствором щавелевой кислоты кроме комплексных $Al-R$ и гетерополярных $Al_2(C_2O_4)_3$ солей алюминия в водном растворе сразу же образуются труднорастворимые гидрозоли гидроксида алюминия ($IP = 10^{-34}$), кинетически и термодинамически неустойчивые и выпадающие в осадок. Они имеют высокую сорбционную способность. При их взаимодействии с избытком ионов водорода постепенно вновь образуются ионы алюминия — без обозначения молекул воды:



которые в водном растворе опять гидратируются молекулами воды по формуле:



и раствор подкисляется. Из реакций (3 и 4) видно, что для вытеснения ионов алюминия из обменно поглощенного состояния коллоидов гидроксидов алюминия затрачивается (теряется) заметная масса ионов водорода (величина pH снижается). Затем происходит пополнение растворов ионами H^+ при превращении соединений алюминия, включая и комплексообразование, так называемый pH -эффект [16]. Следовательно, в подзолах протекают колебательные реакции мобилизации и иммобилизации ионов Al^{3+} с участием ВОВ.

Таблица 2

Физико-химические свойства горизонта A_e/E_h (2-12 см) дерново-подзолов, развитых на двучленных отложениях ЛОД, отбор проб почвы 25.07.2009 г.

Номера кварталов	Главная порода	Содержание частиц менее 0,01 мм, %	$C_{орг}$, %	$pH_{ксл}$	Al^{3+} , мг/100 г	Доступные формы, мг/кг	
						$H_2PO_4^-$	K^+
9	Дуб	18,5	$4,7 \pm 0,1$	$4,1 \pm 0,05$	$3,62 \pm 0,03$	$2,5 \pm 0,05$	$11,1 \pm 0,4$
7	Сосна	12,8	$2,4 \pm 1,3$	$3,2 \pm 0,0$	$5,94 \pm 0,20$	$1,2 \pm 0,0$	$8,4 \pm 1,0$
9	Сосна с березой	14,2	$2,5 \pm 1,0$	$3,0 \pm 0,1$	$8,35 \pm 0,43$	$1,9 \pm 0,1$	$10,4 \pm 2,0$
Среднее для 3 кварталов: \bar{x}			$3,2 \pm 1,3$	3,43	5,97	1,87	9,97
Среднее квадратичное отклонение: σ			1,3	0,59	2,37	0,65	1,4

Значения величин $pH_{КС1}$ в горизонтах дерново-подзолов контактно-глееватых на двучленных отложениях ЛОД, отбор почвенных образцов 05.08.2009 г.

Квартал ЛОД	Пробная площадь	Ориентировочный возраст насаждений, лет	Горизонты изучаемых почв		
			A ₁ /E _n (2–12 см)	E _n (25–35 см)	B _{np} (50–60 см)
7 (сосна)	«Р»	34	3,10±0,48	3,89±0,66	3,53±0,08
8 (лиственница)	«В»	40	2,96±0,39	3,23±0,24	3,55±0,24
7 (сосна)	«Г»	122	3,08±0,31	3,72±0,94	3,89±0,05
Среднее для 3 кварталов: \bar{x}			3,05	3,61	3,66
Среднее квадратичное отклонение: σ			0,08	0,34	0,20

Формы алюминия в подзолах весьма разнообразны и взаимосвязаны, что и было отмечено нами ранее [16, 17, 27, 29]. В этом контексте, очевидно, некорректно рассматривать ионы Al^{3+} в качестве источника кислотности. Ионы алюминия являются токсикантами для культурных растений в агроландшафтах тайги, а не для таежной биоты [1, 4, 15]: на подзолах в таежном лесу благополучно развиваются и древесная растительность, и грибы, и ягоды. Экологическая роль алюминия в таежных экосистемах остается недостаточно изученной. Нами установлена, в частности, взаимосвязь высокого содержания обменного Al^{3+} с низким обеспечением подзолов доступными формами фосфора (см. табл. 2). В то же время установлено, что в почвах ЦЛГПБЗ низкое содержание обменно-поглощенных ионов Al^{3+} коррелирует с высокими значениями доступного фосфора, в частности, в нижних горизонтах дерново-подзола на двучленах (см. табл. 1).

При подсыхании подзолов в летний и зимний сезоны коллоидные частицы $Al(OH)_3$ дегидратируются и превращаются в окристаллизованные формы $(Al_2O_3)_x \times x AlO_2H^+$, в которых ионы водорода способны к обмену с катионами K^+ , NH_4^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Pb^{2+} в кислых почвенных растворах [17, 27]. Эти катионы компенсируют заряд потенциалоопределяющих анионов коллоидов алюминия. Ранее нами отмечалось, что оксид алюминия, используемый в СЛ, сорбирует необменно часть масс ВОВ и Fe-органических комплексов при их миграции в почве [16, 17, 27]. Наши исследования также показали, что данный факт может быть связан с мобилизацией ионов алюминия из самого сорбента (Al_2O_3) с образованием слабо диссоциирующих комплексов, осаждающихся на частицах оксида алюминия. Ни кислотой, ни щелочью эти продукты в лаборатории не десорбировались. Поэтому $S_{орг}$ ВОВ всегда диагностировался непосредственно в навеске Al_2O_3 по методу Тюрина, как и в почве. На наш взгляд, подобный эффект наблюдается и в подзолах песчано-супесчаных при формировании иллювиально-железистого горизонта. Поэтому правильнее данный горизонт называть Al-Fe горизонт, поскольку аккумуляция железа здесь тесно связана с соединениями Al, с кислотностью подзолов и с трансформацией коллоидов [27]. Рассмотрим фактические данные.

Подзолы старовозрастных посадок лиственницы и сосны Лесной опытной дачи, как правило, отличаются более высокими значениями H_1 и актуальной кислотности. Очевидно, что этот факт генетически связан с мобилизацией в раствор ВОВ и ФК с ярко выраженными кислотными свойствами и фульватным составом гуму-

Гидролитическая кислотность H_r , мг-экв./100 г в дерново-подзолах ЛОД

Квартал ЛОД	Пробная площадь	Возраст, лет	Горизонты и глубина отбора образцов, см		
			A_r/E_h (2–12 см)	E_h (25–35 см)	B_{np} (50–60 см)
7 (сосна)	«Р»	34	10,90±2,71	2,55±3,17	1,12±2,18
8 (лиственница)	«В»	40	6,07±1,66	3,50±2,59	1,20±3,64
7 (сосна)	«П»	122	13,27±3,43	2,96±0,45	1,34±0,56
Среднее для 3 кварталов: \bar{x}			10,08	3,00	1,22
Среднее квадратичное отклонение: σ			3,67	0,48	0,11

са [5] (см. табл. 2-4). В лесопарковых экосистемах тайги активная водная миграция ВОВ способствует мобилизации в раствор из минералов ионно-молекулярных форм алюминия и железа. По мнению ряда авторов, этот факт указывает на глубокий кислотный распад минералов и ярко выраженное глее- и подзолообразование [2, 11, 12, 25]. Вынос соединений Fe, Al наблюдается после заметного обеднения минералов ионами кальция и магния [2, 11, 13, 17]. Низкомолекулярные продукты почвообразования при миграции частично задерживаются на сорбционных барьерах (горизонт B_r), способствуя их трансформации [16, 31, 30]. Так, гидрогели $Fe(OH)_3$, поглощая мигрируемые ВОВ и Fe-органические комплексные соединения, со временем превращаются в подзолы иллювиально-гумусово-железистые [27]. Поверхностное оглеение дерново-подзолов часто сопряжено с внутривертикальным глееобразованием (на контакте смены пород) и активизирует латеральный вынос ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , а также Fe^{3+} , Al^{3+} при участии ВОВ [11, 27]. При этом белесые (поверхностно оглеенные горизонты) при оценке морфологии почв на двучленах могут быть ошибочно приняты за подзолистые. Оглеение резко активизирует мобилизацию недоокисленных компонентов ВОВ с кислотными свойствами [11, 17, 28]. Поэтому при оценке биогенной кислотности важно знать сезонный масштаб мобилизации и водной миграции ВОВ (см. табл. 5, 6). Установлено, что в дерново-подзолах ЛОД и подзолах стационара «Петрозаводский» вынос компонентов ВОВ выражен весьма активно: из горизонта A_0 ЛОД он достигает $24 \text{ г/м}^2 C_{\text{орг}}$ за осенний период (это один из главных пиков миграции), а из горизонта A_0^T ст. «Петрозаводский» — почти 9 г/м^2 . Выщелачиваемые из мохового очеса ВОВ могут сорбироваться нижними горизонтами оторфованной лесной подстилки — A_0^{III} и A_0^T , поэтому СЛ нами чаще устанавливались под весь слой лесной подстилки [16, 28, 30, 31]. Уместно добавить, что здесь же интенсивно накапливаются и тяжелые металлы. В дерново-подзолах Лесной опытной дачи в составе ВОВ отмечено преобладание специфических компонентов ВОВ — фульвокислот и их солей, что связано с более высокой биологической активностью почв ЛОД в сравнении с аналогами подзоны средней тайги. Отметим, ФК изучались авторами [16, 17, 29], а также группой специалистов из института Геохимии РАН имени В.И. Вернадского [2]. Было выявлено, что ФК отличаются высокой химической активностью, устойчивостью в растворах при миграции, способностью образовывать с ионами металлов прочные комплексные соединения и ярко выраженной кислотностью, вызывая мобилизацию в раствор, например, из порошка $CaCO_3$ ионов Ca^{2+} и ТМ [27, 29]. Лизиметрические наблюдения показали, что в подзолах

стационара «Петрозаводский» мигрируют как ФК, так и в большей мере низкомолекулярные ВОВ индивидуальной природы, переходящие с активированного угля колонок в водо-ацетоновый элюат (см. табл. 5, 6). В составе ВОВ с помощью методов бумажной и колоночной хроматографии диагностированы низкомолекулярные органические кислоты, полифенолы и уруновые кислоты [16, 28]. Миграционная способность комплексов с ионами металлов выше у ФК, чем у алифатических кислот и полифенолов [2, 5, 13, 18, 22, 25, 34-37]. На основе авторских экспериментальных данных были рассчитаны коэффициенты водной миграции $k_{миг}$ некоторых химических элементов в элементарных геохимических ландшафтах (ЭГЛ) катены «Петрозаводская» (см. табл. 7). Величины $k_{миг}$ для изученных ЭГЛ оказались экстремально высокими, что указывает на активные сорбционно-десорбционные процессы ТМ. Выявлено, что оторфованные лесные подстилки, с одной стороны, являются весьма емкими поглотителями ионов металлов, сажи, частиц пыли и влаги, а с другой — источниками ВОВ и ионов ТМ, загрязняя грибы и ягоды. Биополимеры лесных подстилок и опада (лигнин, клетчатка и гемицеллюлоза) являются как источниками ВОВ, так и их поглотителями. Лесные подстилки выступают мощными органогенными сорбционными барьерами миграции [31, 32]. В западине (на вырубке) $k_{миг}$ оказался максимально высоким у Pb (968), Zn (3125), Cd (4118). В автономном ЭГЛ (на плакоре) $k_{миг}$ самый высокий у свинца (4166) и немного меньше у кадмия (2292). Движущими силами водной миграции ионов ТМ в подзолах на двучленах являются высокая кислотность, оглеение по всему профилю, устойчивая мобилизация ВОВ в раствор и застойно-промывной водный режим почв. В этой связи нами была изучена динамика содержания ТМ в почвах ЛОД г. Москвы, а также ЦЛГПБЗ, где антропогенная нагрузка почти отсутствует (табл. 8). Установлено, что в 2012 г. по сравнению с 2008 г. в дерново-подзолах ЛОД мегаполиса достоверно увеличилось валовое содержание Zn, Ni, Cd, Си, которые с помощью ВОВ активно мобилизуются в раствор и включаются в потоки миграции (биогенный и водный). В ландшафтах фонового стационара ЦЛГПБЗ также отмечено постепенное химическое загрязнение профиля подзола Cd, Ni, Pb (горизонты лесной подстилки и нижние слои почв). Еще совсем недавно в литературе отмечалось, что почвы ЦЛГПБЗ не загрязнены ТМ и характеризуются исключительно благоприятной экологической ситуацией [13, 14, 25].

Таблица 5

Форма и масштаб нисходящей миграции соединений железа и компонентов ВОВ в дерново-подзоле на двучленах плакора ЛОД, экспозиция 15.07 — 04.12.2010 г.

Горизонт и глубина закладки СЛ, см	C _{орг} ВОВ, г/м ²				Масса ионов Fe, прочно связанных ВОВ, %	Масштаб миграции ионов железа, мг/м ²
	общий масштаб миграции	в водо-ацетоновом элюате с угля (ИОВ)*	в аммиачном элюате с угля (ФК)	в Al ₂ O ₃		
A _о -3	23,5 ± 7,9	7,6 ± 4,2	13,4 ± 8,3	2,5 ± 1,8	59,1 ± 23,4	254 ± 32,6
E _н -12	7,6 ± 2,3	2,1 ± 0,7	4,5 ± 1,8	1,0 ± 0,7	65,2 ± 29,1	116 ± 19,7
B _{тг} -49	11,5 ± 4,6	4,9 ± 1,5	6,3 ± 2,5	0,3 ± 0,1	67,7 ± 34,6	263 ± 41,1

* здесь и далее индивидуальные органические вещества вытесняются из активированного угля водоацетоновой вытяжкой, фульвокислоты — аммиаком.

**Масштаб вертикальной нисходящей миграции ВОВ и соединений железа
в подзолах контактно-глееватых супесчаных на двучленах
в таежной лесопарковой катене Петрозаводска**

Горизонт и глубина установки сорбционных лизиметров, см	Вынос $C_{орг}$ ВОВ, г/м ² за 1 г.			Fe ³⁺ , мг/м ² за 1 г.	
	в водо-ацетонном элюате из угля (ИОВ)	в аммонийном элюате из угля (ФС)	по сорбции ВОВ на Al ₂ O ₃	после разрушения ВОВ, 20% H ₂ O ₂	% массы ионов Fe ³⁺ , прочно связанных с ВОВ
<i>Контроль. Разрез 4п. Ландшафт автономный (плакор) нетрансформированный — ельник–черничник зеленомошный: 7.07. — 11.11.2009</i>					
A ₀ ^т — 3	5,2 ± 1,5	2,4 ± 0,9	1,3 ± 0,5	449,2 ± 18,2	54,3
E _h — 14	4,6 ± 1,3	2,1 ± 0,8	0,9 ± 0,1	316,6 ± 27,4	59,6
B _г — 36	0,5 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,1 ± 0,0	38,5 ± 5,7	72,4
<i>Разрез 5п. Ландшафт трансформированный: вырубка (западина — черничник сфагновый; средняя часть склона увала)</i>					
A ₀ ^{тп} — 5	17,9 ± 3,5	8,3 ± 1,6	4,7 ± 1,5	429,4 ± 44,9	67,2
E _{hg} — 12	14,1 ± 3,2	10,9 ± 1,9	2,5 ± 0,7	697,5 ± 72,1	70,4
B _{hg(тр)} — 39	3,7 ± 1,1	14,4 ± 2,4	0,8 ± 0,3	722,5 ± 95,7	70,8
B _{h(не тр)} — 38	1,9 ± 0,7	4,9 ± 1,6	0,5 ± 0,1	189,2 ± 17,4	76,3
<i>Разрез 3п. Ландшафт трансаккумулятивный. Вырубка на опушке леса — нижняя треть склона увала (ельник–черничник)</i>					
A ₀ ^{тп} — 5	14,7 ± 3,1	6,8 ± 1,4	5,8 ± 1,9	543,9 ± 112,2	59,6
E _{hg(тр)} — 15	8,5 ± 1,8	9,6 ± 2,2	4,1 ± 1,3	705,3 ± 23,8	38,4
B _{г(тр)} — 40	2,3 ± 0,8	3,7 ± 1,1	2,0 ± 0,6	198,2 ± 63,7	29,7

На наш взгляд, причиной загрязнения является трансатлантический перенос из стран Европы воздушных масс, содержащих как анионы сильных минеральных кислот, так и частицы сажи, пыли (сорбирующих ионы ТМ и иные токсиканты). Данное положение требует дальнейшего обоснования. Одно ясно: использовать почвы и экосистемы ЦЛГПБЗ в качестве прежнего эталона для фоновоего мониторинга нужно осмотрительно, учитывая исторические факты — разрушение и деградацию почв многих ландшафтов в период Отечественной войны 1941-1945 гг. и послевоенные промышленные рубки в заповеднике в 50-60 гг. XX столетия [14].

Анализ накопленной информации [2, 11-13, 16-18, 23, 27-38] позволяет рассматривать разнообразные компоненты ВОВ с кислотными свойствами в качестве целевых мобильных продуктов, отражающих специфику функционирования

Таблица 7

Коэффициенты миграции $K_{миг}$ изучаемых химических элементов в горизонтах подзолов, развитых на двучленах, в фациях таежного лесопарка Петрозаводска

Глубина установки лизиметров, см	Сухой остаток, г/л	C _{орг} ВОВ	Fe	Pb	Zn	Cu	Cd
		$K_{миг}$ по Перельману					
<i>Разрез 4п. Подзол иллювиально-железистый на двучленах под ельником мертвопокровным, плакор — автономный ЭГЛ</i>							
A_0^T — 3	0,12	322	6,7	4166	287	637	2292
B_f — 36	0,08	215	5,0	1250	129	588	1875
<i>Разрез 5п. Подзол контактно-глееватый под черничником сфагновым, западина, вырубка — трансаккумулятивный ЭГЛ</i>							
$A_0^{тн}$ — 7	0,17	793	5,9	968	3125	519	4118
$B_{тр}$ — 36	0,23	278	6,4	87	544	307	98
<i>Разрез 3п. Подзол контактно-глееватый под ельником-черничником, нижняя треть склона — зона разгрузки мигрантов — трансэлювиальный ЭГЛ</i>							
$A_0^{тн}$ — 5	0,29	370	3,7	448	216	219	3218
$B_{тр}$ — 40	0,34	124	2,0	32	101	363	342

Таблица 8

Динамика валового содержания ТМ в дерново-подзолах на двучленах при мониторинге лесных и лесопарковых фаций 2008-2012 гг., мг/кг

Отбор образцов, см	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni
<i>ЛОД. Плакор холма, фация сосны; отбор образцов почвы 05.07.2008 г. *</i>					
A_{th}/E_h 2–12	0,27 ±0,07	5,1 ±0,7	34,4 ±12,1	17,4 ±3,4	0,26 ±0,09
E_{hg} 16–26	0,18 ±0,04	2,7 ±0,4	18,3 ±8,8	19,1 ±4,7	0,70 ±0,08
E_{gh} 39–42	0,11 ±0,03	0,15 ±0,02	9,4 ±2,5	8,3 ±3,2	1,17 ±0,13
B_{fg} 42–52	He опр.	0,72 ±0,08	He опр.	He опр.	0,50 ±0,06
EL'_g 53–59	He опр.	0,44 ±0,06	He опр.	He опр.	0,86 ±0,15
B_{2g} 79–89	He опр.	0,49 ±0,05	He опр.	He опр.	1,06 ±0,18
<i>ЛОД. Плакор холма, фация сосны; отбор образцов почвы после схода снега 16.04.2009 г.</i>					
A_{th}/E_h 2–11	0,20 ±0,09	24,8 ±8,7	30,5 ±10,1	11,3 ±3,9	He опр.
<i>ЛОД. Плакор холма, фация сосны; отбор образцов почвы 7.07.2011 г.</i>					
A_{th}/E_h 2–10	0,22 ±0,04	89,2 ±18,3	21,9 ±2,6	12,9 ±2,6	He опр.

Отбор образцов, см	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni
<i>ЛЮД. Плакор холма, фация сосны; отбор образцов почвы 07.07.2012 г.</i>					
A _{1h} /E _h 2–12	0,36 ± 0,08	12,7 ± 1,9	61,2 ± 14,3	21,5 ± 4,9	0,43 ± 0,08
E _{hg} 16–26	0,27 ± 0,03	5,9 ± 1,4	31,1 ± 7,1	22,2 ± 5,6	0,26 ± 0,06
E _{gh} 39–42	0,12 ± 0,01	0,9 ± 0,04	11,8 ± 3,4	10,7 ± 4,3	0,87 ± 0,23
<i>ЦЛГПБЗ. Плакор, фация ельника-черничника; отбор образцов почвы 30.09.2011 г.</i>					
A ₀ 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

* анализы выполнены Е. Наумовой; повышенное содержание ТМ в дерново-подзолах ЦЛГПБЗ коррелирует с аномально высоким содержанием доступных форм фосфора, что требует дополнительной проверки (см. табл. 2).

таежных экосистем и взаимосвязь ведущих биосферных процессов — фотосинтеза и гумусообразования.

Выводы

1. В сосново-лиственничных фациях ЛЮД и ельниках стационара «Петрозаводский» (в катене плакор-склон-подошва склона холма) изучены морфология, химические свойства почв, развитых на двучленных отложениях. Они имеют два различных по генезису подзолистых горизонта: один верхний, белесовато-серый, завуалированный миграционными ВОВ (связан с биогеохимическим круговоротом веществ — биогенной и водной миграцией), а второй — более мощный — на контакте смены пород: супесчаного минипodzола и моренного тяжелого суглинка (формируется за счет физико-химических процессов при сезонном переувлажнении с участием ВОВ и анаэробных микроорганизмов). Подзолы и дерново-подзолы на двучленах отличаются очень высокой актуальной кислотностью (рНкs1, например, достигает 3,0-3,9) и наличие значительного количества обменного алюминия.

2. Рассмотрены реакции трансформации соединений алюминия и мобилизации в раствор ионов Al³⁺. В последнем случае в колебательных реакциях отмечено отчуждение ионов водорода и уменьшение кислотности почвы; устойчивая мобилизация в раствор ВОВ (в частности, НМОК) и комплексообразование вновь заметно усиливают кислотность подзолов. Наблюдаются колебательные процессы активизации и снижения кислотной нагрузки; при этом биогенный вектор кислотности связан с физико-химическими реакциями в почве.

3. Углублены представления об экологических особенностях процессов глее- и подзолообразования в подзолах и дерново-подзолах лесопарков Москвы (ЛЮД) и Петрозаводска. Отмечено, что глееобразование — это горизонтный процесс, кото-

рый протекает с участием анаэробных микроорганизмов и ВОВ, резко усиливается на вырубках и по микропонижениям, способствуя заболачиванию; подзолообразование — это типичный почвенно-геохимический, реализующийся на более высоком экосистемном уровне; в биогенном поле таежных парцелл образуются профили подзолистых почв с элювиальным вектором миграции. Оглеение сопряжено с подзолообразованием, способствуя более интенсивной и масштабной мобилизации в раствор как ВОВ из лесных подстилок и растительного опада, так и ионов Al^{3+} из минералов, коллоидов гидрогелей $Al(OH)_3$, заметно усиливая кислотность в почвах на бескарбонатных породах.

4. Исследованы сезонный и годовой масштаб водной миграции ВОВ с кислотными свойствами в дерново-подзолах и подзолах на двучленах в лесопарковых катенах ЛОД и Петрозаводска с помощью метода сорбционных лизиметров. Из лесной подстилки в подзолах на двучленах лесопарка средней тайги вынос $C_{орг}$ ВОВ составляет в среднем $10,9 \text{ г/м}^2$, вглубь профиля проникает $7,2 \text{ г/м}^2$ $C_{орг}$ (наблюдения с 16.07. по 12.11.2011 г.) — это осенний пик миграции; в дерново-подзолах ЛОД (годовой цикл наблюдений) на плакоре вынос ВОВ составляет $3,8-10,1$, а в средней части склона холма — $3,5-12,3 \text{ г/м}^2$. Нисходящая водная миграция продуктов почвообразования в подзолах на двучленах происходит в оглеенном профиле. В засушливые сезоны горизонты E_{hg} и V_{fhg} сильно уплотняются, наблюдается сегрегация соединений Fe и Mn в мелкие конкреции, куда стягиваются и ионы ТМ. При миграции через иллювиально-железистый барьер в составе ВОВ достоверно увеличивается содержание ФК, что связано с комплексообразованием и трансформацией гидрогелей гидроксидов алюминия, железа.

5. Сформулировано положение о биогенной кислотности таежных экосистем; она отражает один из экологических механизмов адаптации групп живых организмов к неблагоприятным экологическим условиям в зоне тайги. Компоненты ВОВ не только мобилизуют в раствор ионы ТМ, но и при комплексообразовании инактивируют их токсичные свойства. При водной миграции происходит периодическое самоочищение почв в латеральной цепи элементарных геохимических ландшафтов.

Библиографический список

1. Алешин С.П. Природа поглощения ионов водорода почвенным поглощающим комплексом // Известия ТСХА, 1957. Вып. 4. С. 207-226.
2. ВаршалГ.М., Кащеева П.Я., Сироткина П.С. Изучение органических кислот поверхностных вод и их взаимодействия с ионами металлов // Геохимия. 1979. № 4. С. 598-607.
3. Васенев П.П, Таргульян В. О. Ветровал и таежное почвообразование (режимы, процессы, морфогенез почвенных сукцессий). М.: Наука. 1995. 247 с.
4. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: изд-во МГУ 1998. 272 с.
5. Ганжара Н. Ф., Рассохина В.В. Влияние ионов водорода, алюминия и железа на формирование состава гумуса // Известия ТСХА. 1975. Вып. 1. С. 92-96.
6. ГедройцК.К. Учение о поглотительной способности почв. М.: Сельхозгиз, 1932.203 с.
7. Градусов В.М. Пространственная неоднородность литологических условий территории Лесной опытной дачи // Известия ТСХА. 2006. Вып. 3. С. 129-135.
8. Гречин П.П. Почвы Лесной опытной дачи // Известия ТСХА. 1958. Вып. 1 (14). С. 118-127.
9. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». 2010. 336 с.
10. Емцев В. Т. Почвенные анаэробы рода *Clostridium*: автореф. дис.... д-ра биол. наук / ИНМИ АН СССР. М., 1971. 46 с.

11. *Зайдельман Ф.Р.* Трансформация органического вещества при оглеении и его роль в миграции железа и алюминия // Подзоло- и глееобразование. М.: Наука. 1974. С. 22.
12. *Зонн С.В., Гахомани А.Б.* Алюминий и его роль в почвообразовании // Почвоведение. 1981. №4. С. 25-31.
13. *Карпухин А.П.* Комплексные соединения органических веществ почв с ионами тяжелых металлов: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. 1986. 32 с.
14. *Карпачевский И.О., Строганова М.Н.* Почвы Центрально-лесного заповедника и их экологическая оценка. // Динамика, структура почв и современные почвенные процессы. М.: изд-во МГУ, 1987. С. 10-30.
15. *Карпинский И.П.* Кислотность подзолистых почв: автореф. дис. ... д-р с.-х. наук. М., 1952. 32 с.
16. *Карпухин А.П., Яшин ИМ., Черников В.А.* Формирование и миграция комплексов водорастворимых органических веществ с ионами тяжелых металлов в таежных ландшафтах Европейского Севера//Известия ТСХА. 1993. Вып. 2. С. 107-126.
17. *Кауричев П.С., Яшин ИМ.* Адсорбция некоторых соединений почвы различными сорбентами//Доклады ТСХА. 1972. Вып. 183. С. 11-15.
18. *Лукина Н.В., Никонов В.В.* Кислотность подзолистых Al-Fe-гумусовых почв сосновых лесов в условиях аэротехногенного загрязнения // Почвоведение. 1997. № 7. С. 879-891.
19. *Мишустин Е.Н., Мурзаков Б.Г.* В.Р. Вильямс и развитие биологического аспекта в почвоведении//Почвоведение. 1989. № 1. С. 94-108.
20. *Наумов В.Д., Поляков АН.* 145 лет Лесной опытной даче РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева: М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. 2009. 512 с.
21. *Окорков В.А.* Поглощающий комплекс и механизм известкования кислых почв. Владимир: изд-во ВООО ВОИ, 2004. 181 с.
22. *Пономарева В.В., Плотникова Т.А.* Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения). Ленинград: Наука, 1980. 222 с.
23. *Рожков А.С., Массель Г.П.* Смолистые вещества хвойных и насекомые-ксилофаги. Новосибирск: Наука, 1982. 147 с.
24. *Савич В.П., Федорин Ю.В., Химица Е.Г.* Почвы мегаполисов, их экологическая оценка, использование и создание (на примере г. Москвы): учеб. пособие. М.: Агробизнес-центр. 2007. 660 с.
25. *Толпешина И.И., Соколова Т.А.* Подвижные соединения алюминия в почвах катен южной тайги // Почвоведение. 2010. № 8. С. 959-968.
26. *Филеп Д., Рэдли М.* Формы кислотности и кислотно-основная буферность почв // Почвоведение. 1989. № 12. С. 48-59.
27. *Яшин ИМ.* Сорбция и десорбция органических веществ почвы активированным углем и «безводной» окисью алюминия // Известия ТСХА. 1972. Вып. 6. С. 123-129.
28. *Яшин ИМ.* Взаимодействие гидроксида железа, препаратов гуминовых кислот и доломита с водорастворимыми органическими веществами подзолистых почв // Известия ТСХА. 1991. Вып. 6. С. 46-61.
29. *Яшин ИМ.* Роль низкомолекулярных органических кислот в абиогенной трансформации гумусовых веществ почв таежно-лесной зоны // Известия ТСХА. 1992. Вып. 5. С. 36-49.
30. *Яшин ИМ., Кауричев П.С., Черников В.А.* Экологические аспекты гумусообразования//Известия ТСХА. 1996. Вып. 2. С. 110-129.
31. *Яшин ИМ., Карпухин А.П., Платонов ИГ., Черников В.А.* Статика сорбции водных растворов фульвокислот доломитизированным известняком // Известия ТСХА. 1991. Вып. 4. С. 17-31.
32. *Яшин ИМ., Каишинский АД, Петухова АА., Козул Л.П.* Ландшафтно-геохимическая диагностика почв Европейского Севера России. Москва. 2012. 158 с.
33. *Яшин ИМ., Кузнецов П.В., Петухова АА.* Экогеохимическая оценка почв и лесопарковых фаций Петрозаводска // Известия ТСХА. 2011. Вып. 4. С. 30-43.

34. 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.

35. Dunemann L., Schwedt G. Zur Analytik von Elementbindungsformen in Bodenlösungen init Gel-Chromatographie und cheinischen Reaktionsdetektoren // Fresenius' Z. Anal. Chem. 1984. B. 317. №3-1. P. 394-399.

36. Guggenberger G, Zech W. Dissolved organic carbon in forest floor leachates: simple degradation products or huinic substances? // The Science of The Total Environment. Vol. 152. Iss. 1. 1994. P. 37-17.

37. HempflingR., Schuller H.-R. Selective preservation of biomolecules during humification of forest litter studied by pyrolysis-field-ionization spectrometry // The Science of The Enviromnent. Vol. 81-82. June 1989.P. 3140.

38. KalbitzK., Solinger S., ParkJ.-H., MichalzikB., Matzner E. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a rewiev // Soil Sci. 2000. Vol. 165. P. 277-304.

39. Stevenson F.J. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. 2 nd ed. Wiley. New York, 1994. 494 p.

Рецензенты — д.б.н. В.И. Савич, д. с.-х. н. В.А. Черников

RESEARCH OF SOIL BIOGENIC ACIDITY INFLUENCE ON PODZOL FORMING

I.M. YASHIN¹, I.I. VASENEV¹, R. VALENTINE, A A. PETUKHOVA¹, L.P. KOGUT¹

(¹ RTSAU named in honour of K.A. Timiryazev;² Tuscia University, Italy)

The paper with re\iew and generalization of data analysis on the principal forms of soil biogenic acidity based on research into representative podzols and podzoluvisols with combined parent materials and boreal (taiga) ecosystems at the Central Forest Biosphere Reserve (Tver region), Forrest Experimental Station of RTSAU (Moscow) and LAMP Experimental plot in Taiga park of Petrozavodsk. long-term monitoring of acidity forms has been performed by authors in period from 2002 to 2012. There is comparative analysis of two principal approaches: chemical and soil-ecological - on soil acidity nature. The first is dominated in case of soils in conditions of agricultural ecosystems that determine their acidity regulation methods through liming. Soil-ecological assessment is associated with the diagnosis of biogenic acidity of taiga ecosystems and includes biochemical cycling of organic carbon formed during photosynthesis process and humification of organic acids with low molecular weight, polyphenols and fulvic acids. The biogenic acidity quantitative evaluation has been made through the study of migration of water soluble organic substances (WOS) with acidic properties. The sorption lvsimeter method (SIM) has been used in this research. The highest values of hydrolytic acidity and active acidity have been fixed in case of sod-podzoluvisols in larch and pine mature plantations at the Forrest Experimental Station, in mature spruce forest at the Central Forest Biosphere Reserve and of podzols at the IAAIP Experimental plot in Taiga park of Petrozavodsk. This is strongly related with lvsimeter data on mobilization of WOS with acidic properties and fulvic acids in solution. Al and Fe compounds leaching from topsoil are observed after significant Ca and Mg depletion from dominated minerals. Surface gleization process of sod-podzol uvi sol sis connected with their inter-profile gleization at the parent material

boundary and activates the lateral removal of Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} ions with participation of WOS. In case of sod-podzol ułi sols of the Forrest Experimental Station WOS leaching from upper horizon AO can be 24 g/hr in fall (one of principal peaks of migration), in case of Taiga park of Petrozavodsk it is 16- 21 g/m².

Keywords: acidity, soil acidity nature, podzol, sod-podzoluvisol, sorption lysimeter method, watersoluble organic substances, leaching, lateral migration, boreal (taiga) ecosystems.

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

Васнев Иван Иванович — д.б.н., профессор, зав. кафедрой экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Тел.: (499) 977-08-43; e-mail: vasenv@timacad.ru.

Рикардо Валентини — профессор Университета Туши, Италия.

Петухова Анастасия Александровна — аспирант кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Тел: (499) 976-45-60.

Когут Любовь Петровна — аспирант кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Тел: (499) 976-45-60.