

УДК 631.412+631.0.42

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИЗИМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА В ПОЧВОВЕДЕНИИ И ЭКОЛОГИИ

И. М. ЯШИН, Е.В. МУХИН

(Кафедра экологии и БЖД)

Рассматриваются особенности применения лизиметрического метода при изучении трансформации и абиогенной миграции веществ в почвах нативных, мелиорированных и лесопарковых ландшафтов подзон южной и средней тайги.

Более чем **столетний опыт** применения лизиметрических устройств позволил накопить ценную фактическую информацию, в частности, в **почвоведении, мелиорации, агрохимии, земледелии и экологии** [1, 3, 4, 5, 7—9, 11, 14, 15]. В последние годы разрабатываются методологические подходы использования лизиметров для оценки ландшафтно-геохимической миграции веществ [1, 13, 21] с целью обоснования, например, устойчивости геосистем в условиях стремительно нарастающего антропогенеза [1, 2, И, 13, 15, 17, 22].

Специалисты отмечают пока **локальное** (вблизи крупных предприятий и городов) и **явно негативное** химическое воздействие неутилизированных продуктов техногенной деятельности — пыли, дыма, «кислотных дождей», химически агрессивных сточных вод на биоту, почвенный покров... и трофические (пищевые) цепи [2, 3, 10].

При этом существующие критерии оценки поведения поллютантов в экосистемах остаются **несовершенными**. Параметры экологического нормирования **ПДК***, **ОД к**, **ПДВ** разработаны без учета

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 02-04-63043 и 02-04-48791.

* Параметры ПДК, ОДК, ПДВ отражают **санитарно-гигиенический подход**. В соответствующих документах, где приводятся эти нормативы, например, для объекта-почвы, не указывается их тип/ландшафтная привязка, использование.

своеобразия ландшафтов и почв тайги, степей, полупустынь..., процессов почвообразования, трансформации и миграции веществ. Более перспективен ландшафтно-экологический подход, при котором используются **теоретическое, эмпирическое, статистическое и экспертное** направления (Башкин В. А. и др., 1993). Важным дополнением к указанным научным направлениям является **лизиметрический метод** изучения состава веществ гравитационной формы влаги. Известно, что жидкая фаза отражает не только своеобразие генезиса почвы, но и особенности взаимодействия биоты с компонентами почвы (гумусом, коллоидами, минералами и т. д.), а также многообразные процессы трансформации аккумулируемых техногенных соединений [2, 3, 7, 15]. В современный период экотоксиканты преимущественно мигрируют **по трофическим цепям**, вызывая постепенное загрязнение почв, воды, кормов и продуктов питания и, как следствие, заболевания сельскохозяйственных животных и людей [11, 12, 18]. В зонах **экологических катастроф** (Чернобыль, Челябинск...) и интенсивного **техногенного загрязнения** (Апатиты, Архангельск, Братск, Норильск...) ионы тяжелых металлов и радионуклиды вы-

зывают изменение состава и свойств почвенного поглощающего комплекса, негативно влияя на биологическую активность, свойства гумусовых соединений почв и функционирование растений. Наряду с этим нужно уметь составить прогноз, как будут развиваться процессы почвообразования и сукцессии экосистем в ближайшие 10-30 лет — в период **глобального потепления климата на Земле**. На основе этой информации следует формировать государственную стратегию природопользования, торговли и разрабатывать **новые технологии** возделывания с.-х. культур в изменяющихся ландшафтах [10].

Таким образом, мониторинг (**исследование и контроль**) за состоянием и устойчивостью компонентов ландшафтов — одна из приоритетных и фундаментальных проблем почвоведения и экологии. При использовании лизиметрии ее реализация требует решения, по крайней мере, 3 актуальных задач: 1-я — унификация конструкций лизиметров, 2-я — изучение и оценка направленности потоков почвенной влаги в профилях почв стационаров по сезонам года; 3-я обоснованный выбор объекта исследования (стационарной лизиметрической площадки) на основе информации о структуре почвен-

ного покрова (СПП). Рассмотрим кратко эти положения.

Методика

В настоящее время спектр вопросов, изучаемых с помощью лизиметрического метода, не ограничивается только почвенно-гидрологическими и агрономическими направлениями: оценкой статей водного баланса и водопроницаемости почв, выщелачиванием элементов питания (при внесении удобрений), испаряемости, конденсации парообразной влаги... **Унификация конструкций лизиметров** позволила заметно расширить функциональные возможности данного метода. В известной мере это относится к **вакуумным и сорбционным лизиметрам** [20, 22]. Модификация последнего (Кауричев, Яшин, 1989), например, позволила получить новые данные о продуктах трансформации различных веществ, а также сведения о ландшафтно-геохимической устойчивости ряда геосистем [8, 12, 14, 21, 22].

Несмотря на достигнутые успехи, лизиметрический метод имеет **известные недостатки**, которые ограничивают его более широкое применение, например при исследовании генезиса, эволюции почв и уточнении процессов почвообразования. **Основные из них следующие.**

1. Лизиметрический метод позволяет определить химический состав и динамику мобильных форм веществ главным образом в насыщенной влагой почвах. Остаются неизвестными **источник мигрантов** и объем почвы (горизонтов), из которых и поступает гравитационная влага в лизиметр. При этом необходимо знать коэффициенты мобилизации ($K_{\text{моб}}$) для изучаемых веществ. Без учета **информации о коэффициенте мобилизации и потоках влаги** по генетическим горизонтам (и профилю в целом) пока нельзя говорить о точных масштабах абиогенного выноса из профиля тех или иных веществ. Более корректно считать **вероятным масштаб** миграции и трансформации, в частности водорастворимых органических веществ (ВОВ) с изменением их молекулярных масс, структурной организации и подвижности. Нужно иметь фактические сведения об особенностях перехода ВОВ из одних форм и фазовых состояний (ионы, молекулы и ассоциаты, а также сорбированные минеральными коллоидами и тонкодисперсными взвесями...) в другие. Пока также не изучены в полной мере и механизмы, компенсирующие в горизонтах почвы нисходящие потоки мигрантов: нет достоверной информации о **разноориентирован-**

ных векторах миграции и сезонной пульсации потоков веществ в пределах ЭПА, ЭПС и элементарного геохимического ландшафта.

2. Многие лизиметры функционируют как дренажные устройства. Длительное нахождение продуктов миграции в гравитационной влаге приемных бутылей (один год и более) приводит к активной биодеградации не только многих компонентов ВОВ, но и мобильных форм металлорганических комплексов. Конечные химические продукты реакций биодеградации этих соединений — вода, минеральные соли, и в частности H_2CO_3 , существенно изменяют реальные величины pH и формы металлов в растворах.

3. Лизиметрические исследования нередко проводятся в произвольном выбранном объеме почвы, без учета структуры почвенного покрова (СПП), что увеличивает долю неопределенности получаемой информации: неясно, из какого конкретно горизонта происходит вынос мигрантов, осложняющийся сорбционно-десорбционными, хроматографическими и иными сопутствующими процессами миграции (Кауричев, Яшин, Черников, 1996 г.)

Объекты

Первая группа объектов находилась на территории Лесной опытной дачи (ЛОД)

Тимирязевской с.-х. академии. Географически лесо-парковые ландшафты ЛОД приурочены к макроводоразделу реки Яуза и Москвы-реки, занимая наиболее возвышенные участки рельефа — абсолютные высоты 173-179 м над у.м. Поверхность междуречного водораздела осложнена выположенными холмами и древними ложбинами стока, к одной из которых относится речка Жабенка.

Почвенный покров ЛОД наиболее полно изучался И. П. Гречиным (1954). В дальнейшем в различных фациях ЛОД проводились почвенно-экологические (в том числе и лизиметрические) исследования под руководством проф. И. С. Кауричева: Л. Г. Комаревцева (1971), И. М. Яшина (1972), Л. В. Мосиной (1992, 2003), В. Д. Намумова и П. И. Гречина (2001) и др. Лесотаксационная характеристика насаждений проводилась в 1973 и 1983 гг., а в 1995-2000 гг. она повторно уточнялась доц. А. Н. Поляковым.

Почвы ЛОД — подзолистые и дерново-подзолистые, развитые на бескарбонатной морене, нередко встречаются дерново-подзолистые контактно-глеевые, сформированные на двучленных отложениях, когда в пределах 1 м пески и супеси резко сменяются средними и тяжёлыми суглинками. На стационарах

ЛОД изучены гранулометрический состав, химические и физико-химические свойства, а также состав гумуса.

Вторая группа объектов приурочена к южной части территории Архангельской области. Стационар «Няндомский»* на мелиоративном участке площадью 0,7 га. Это типичный регион подзоны средней тайги. В геоморфологическом отношении территория представляет сложный, динамично развивающийся **моренный холмисто-грядово-западинный ландшафт** с большим количеством озер.

Для более точной оценки потоков миграции веществ почвенный покров картографировали путем разбивки изучаемого участка на сеть квадратов 10 Л 0 м, топографически «привязанных» на местности к нескольким постоянным ориентирам, а также к системе провешенных параллельных ходов с реперами. Каждый квадрат отрабатывали 2-3 полными разрезами и прикопками. Дополнительную информацию о морфологии почв и **их топографии получали с помощью трансекты** — профиля магистрального мелиоративного канала протяженностью

около 50 м. Всего на стационарном участке исследовали 107 разрезов глубиной 1,2—1,7 м. Заложение разрезов с указанной частотой позволило выявить интересные особенности генезиса и географии почв **на низшем таксономическом уровне** их пространственной организации. Детальный масштаб полевого картирования **стал критерием** выявления элементарных почвенных ареалов (ЭПА), оценки их однородности и возможности выделения в пространстве специфичных почвенных объектов — предельных структурных элементов (ПСЭ), очевидно, ранее бывших вывалами зрелых елей (рис. 1).

Если при **крупномасштабном картографировании** объектом исследования являются элементарные почвенные структуры (ЭПС), представляющие собой одну или несколько (значительных по площади) комбинаций почв, то при **детальном** — сопряженные ЭПА, или почвы одного разряда (развитые на однородной материнской породе). ЭПА по компоновке также неоднозначны. Как правило, это своеобразные комбинации почвенных индивидуумов (ПИ). Необходимо

* Стационар был организован на относительно выровненном плакоре Коношско-Няндомской моренной гряды с абсолютными отметками около 248 м над у.м. В работе участвовали проф. И.Г. Платонов и студенты-дипломники МСХА[21].

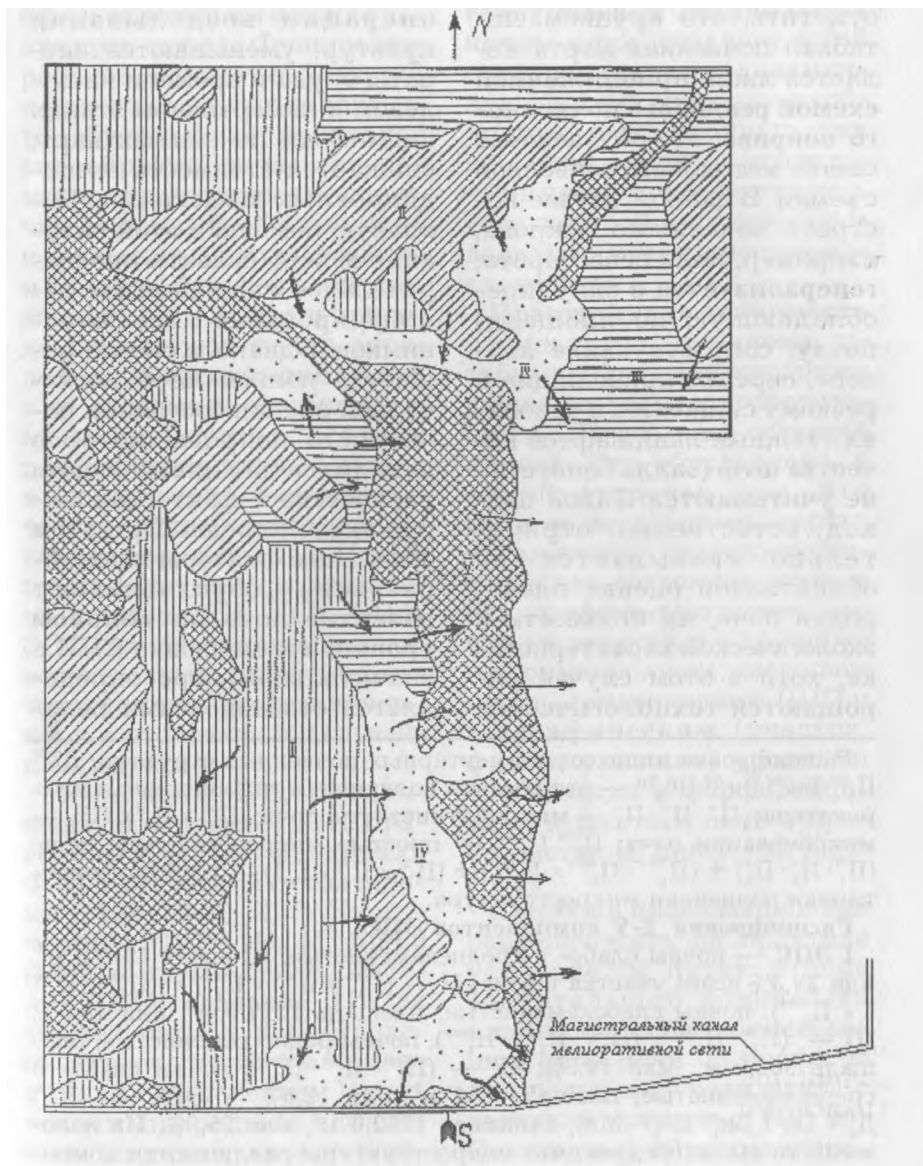


Рис. 1. Карта-схема (М 1:200) элементарных почвенных микро-структур (ЭПС) стационарного участка «Няндомский».

отметить, что крупномасштабная почвенная карта является лишь **приближенной схемой реального почвенного покрова**: это обусловлено самой методикой почвенной съемки. В данном случае пестрота почвенного покрова, например, поля севооборота, **генерализуется в одну** (преобладающую по площади) почву, сопутствующие аналогии, нередко приводящие к резкому снижению в условиях таежных ландшафтов качества почв (балла бонитета), не учитываются. Такой подход, естественно, отрицательно сказывается на объективной оценке плодородия почв, их стоимости и экологической характеристике, хотя в этом случае **упрощаются технологические**

операции возделывания культур, уменьшаются затраты труда и времени на полевом и камеральном этапах подготовки почвенных карт, снижается стоимость экспедиционных изысканий. Реальную помощь в этой ситуации может оказать предварительное ландшафтное дешифрирование аэрофотоснимков. Однако и оно не решает в полной мере достоверной оценки состояния почвенного покрова, которое находится в динамическом равновесии с факторами окружающей среды. При этом зональные факторы почвообразования обуславливают развитие почв **на типовом уровне**, а компоновка СПП в значительной мере определяется особенностями релье-

Расшифровка индексов элементарных почвенных структур: $D_1^{шоп} B_n^{тп} B_n^{тп} P_6^{тг}$ — автономная политипная гидроморфная микрокатена; $P_1^o \cdot P_2^o \cdot P_3^o$ — микропятнистость почв; $P_1^{ог} \times P_2^{ог} \times P_3^{ог}$ — микро мозаики почв; $P_3^{огн} P_1^{огн}$ — простые микрокомплексы почв; $(P_1^o \cdot P_2^o \cdot P_3^o) + (P_1^{ог-г} \cdot P_2^{ог-г} \times P_3^{ог-г}) + (P_1^{ог} \times P_2^{ог} \times P_3^{ог})$ — сложная монотипная почвенная микроструктура.

Расшифровка I-V компонентов ЭПС:

I ЭПС — почвы слабо- и среднекаменистые, площадь 1977,0 м², или 29,3% всего участка ключа; **II** — $(P_1^{ог} \times P_1^{ог2} \times P_1^{ог}) + (P_2^{ог-г} \cdot P_1^{ог-г} \times P_1^{ог3})$, почвы слабокаменистые, площадь 1217,0 м², или 18,0%; **III** — $(P_1^{огн} \cdot P_3^{огн}) + (P_3^{огн} \cdot P_1^{огн} \cdot P_3^{огн})$, почвы редко каменистые, площадь 962,0 м², или 14,3%; **IV** — $(P_1^{ог} \cdot P_2^{ог} \cdot P_3^{ог})$, почвы слабо- и среднекаменистые, площадь 844 м², или 12,5%; **V ЭПС** — $(P_1^{шоп} D_3^{шоп} B_n^{тп} B_n^{тп} P_6^{тг} Mk)$, занимает 1752,0 м², или 25,9%. Из изложенного выше следует, что микроструктуры различаются компонентным составом и неодинаковым соотношением почв, заметным варьированием в пространстве площадей ПСЭ и крайне неоднородными мощностью и морфологией профилей и, как следствие, неоднозначной глубиной залегания грунтовых вод, карбонатов, горизонтов оглеения и т. д.

ефа и залеганием почвообразующих пород. Функционирование конкретных фаций и урочищ таежных ландшафтов обуславливает **локальное своеобразие почв**, которое можно диагностировать, изучив биогенный, абиотический и техногенные потоки веществ и энергии. Важно в этой связи подчеркнуть, что в природе существуют строго определенные **организации почв**, а не отдельные разобщенные их индивидуумы, поэтому дифференцированный подход к их познанию, экогеохимической оценке и использованию весьма актуален. Имеющиеся в литературе трактовки понятий ПИ, ПСЭ, ЭПА, ЭПС, их интерпретация при использовании различных математических приемов нуждаются в уточнении и дальнейшем изучении.

Концепцию ПИ, предложенную, например, Л. И. Прасоловым (1978), развили Ф. И. Козловский с соавторами (1968, 1976), Л. О. Карпачевский (1977), И. М. Яшин (1988) и другие исследователи [21]. Обоснование ПИ как наименьшего и характерного объема почвы было дано в связи с выделением и изучением природных единичных (индивидуальных) почвенных объектов, внедрением в почвоведение методов математического анализа. ПИ находится на стыке **микрореографической и макро-**

генетической организаций почвы и представляет собой очень сложную и динамичную систему, которую необходимо рассматривать как наиболее крупную упорядоченную морфоструктуру. Именно в ПИ и следует проводить лизиметрические исследования.

Практическая значимость результатов (крупномасштабных) почвенно-картографических работ и исследований СПИ все еще остается низкой. Это обусловлено, с одной стороны, тем, что **пока не разработаны** карты, отражающие эколого-экономическое состояние почв и ландшафтно-геохимические потоки веществ, а с другой — информационным разрывом между **генетическим (ПИ)** и **географическим** (участок, фации, урочище) уровнями организации и дифференциации веществ и почв в пространстве (Яшин И. М. и др. 2001).

Подобная информационная разобщенность на практике устраняется путем отбора значительного количества **индивидуальных и смешанных проб почв** по профилю для получения результата с заданной точностью [18, 20]. **Смешанные образцы** в пространственной координате могут дать представление о среднем содержании химического соединения или признака только в пределах го-

могенного массива ЭПА. Неоднородные в почвенном отношении участки ландшафта, состоящие из ЭПС, нуждаются в диагностировании того или иного показателя на основе индивидуальных проб в определенной повторности. **Поэтому можно ставить под сомнение правомерность отбора смешанных образцов в ЭПС для определения рН, свойств поглощающего комплекса, содержания подвижных макро- и микроэлементов и других показателей из-за нарушения правила генетичности объекта.** Указанный подход выражается, в частности, в низкой эффективности известкования освоенных подзолистых почв, для которых недифференцированно (без учета СПП) рассчитывают дозы извести. Например, данные табл. 1 позволяют заключить, что дозы мелиорантов даже для преобладающих почв ключевого участка (осваиваемые подзолистые, типичные глееватые и иллювиально-железистые, в том числе эродированные, занимающие 79,6% площади) не совсем корректны, так как массивы осушаемых гидроморфно-полугидроморфных почв (20,4% площади «ключей») с наиболее высокими значениями гидролитической кислотности (в среднем от 3,9 до 38,3 мг • экв на 100 г) мелиорируются в этом случае недостаточно. Аналогичная си-

туация складывается при регулировании **пищевого режима** по агрохимическим картограммам, когда природная пестрота содержания доступных форм элементов питания в почвенных микроструктурах длительный период **выравнивается** путем внесения не дифференцированных, а **усредненных** доз органических и минеральных удобрений. Отмеченные особенности **чрезвычайно актуальны** для селекционных центров страны, опытных станций и полей НИИ, где разрабатываются адаптивно-ландшафтные системы земледелия.

Результаты

Таким образом, информация о СПП имеет важное теоретическое и практическое значение, способствуя, в частности, уточнению ряда почвенно-экологических вопросов: 1) обоснованному отбору почвенных образцов и выделению в геохимических ландшафтах **предельно однородных почвенных контуров (и ЭПА)**; 2) установлению колебаний границ горизонтов почвы в ЭПА и морфологических признаков; 3) выявлению динамики свойств почв, режимов и химического состава веществ (например, гумусового состояния); 4) диагностике взаимосвязи (в т. ч. и **характера миграционных потоков** веществ) между отдельными ЭПА в элементарных струк-

Таблица 1

Статистическая характеристика мощностей почвенных горизонтов различных ЭПС стационарного участка «Няндомский»

Генетический горизонт	Выборка, n	Max	Min	\bar{M}	σ	V	P
		см				%	
I. Устойчиво переувлажненные почвы, занимающие вытянутые лоцинообразные понижения							
A_n^0	15	35	15	23	6,57	28,6	7,3
T^0	15	65	14	38	14,70	38,6	9,9
II. Осваиваемые подзолистые эродированные почвы							
1) смытые на склонах водоразделов							
A_n	18	34	16	26	4,73	18,2	4,3
A_2	4	7	5	6	1,00	16,7	8,4
A_2B	5	23	5	9	7,96	88,4	39,5
Г.з.	16	115	29	72	25,34	35,2	8,8
2) намывные на подошвах склонов (Al-Fe...)							
$A_n(A_1)$	10	45	35	40	7,24	18,1	5,7
A_2	6	24	10	14	5,20	37,1	15,1
B_f	—	—	—	—	—	—	—
III. Осваиваемые подзолистые иллювиально-железистые почвы и подзолы, приуроченные к выровненным склонам							
$A_n(A_1)$	12	47	17	31	8,87	28,6	8,2
A_2	8	26	2	9	7,87	87,4	29,1
B_f	4	39	7	24	13,29	55,4	27,7
IV. Осваиваемые подзолистые почвы, развитые на плоских водоразделах:							
1) типичные							
$A_n(A_1)$	5	39	15	27	7,33	27,1	12,1
A_2	3	15	3	10	—	—	—
A_2B	3	29	4	15	—	—	—
2) контактно-глеевые с двучленным сложением профиля							
$A_n(A_1)$	12	33	6	21	10,40	49,5	14,3
A_2	11	14	3	6	5,87	97,8	43,7
B_f	3	13	6	10	—	—	—
3) глееватые и глеевые почвы, занимающие понижения на плоских водоразделах							
$A_n(A_1)$	9	47	13	28	10,00	35,7	11,9
$A_2(g)$	5	20	7	10	8,17	81,7	36,5
$A_2B(g)_1G$	7	34	6	15	9,69	64,6	16,7

Примечание. Г.з. — глубина залегания карбонатов; \bar{M} — среднее арифметическое значение признака; s — среднее квадратическое отклонение; V — коэффициент вариации, %; P — точность оценки среднего \bar{M} , %.

турах почвенного покрова; 5) более точной (позиционной) установке сорбционных лизиметров и более полной интерпретации экспериментальных данных.

ЭПА на территории стационара образуют две характерные группы почв: 1-я приурочена к верхней части микроповышений. Здесь морфологические признаки и свойства почв изменяются преимущественно от центра контуров ЭПА к их периферии. Это в основном эродированные аналоги; 2-я — так называемые **переходные** структуры почв, изменение свойств которых прослеживается от одной границы контуров к другой. В данную группу входят намытые осваиваемые подзолистые почвы и подзолы иллювиально-гумусово-железистые, занимающие «подшвы» микросклонов и крайки западин (и ложбин стока). Для 1-й группы почв характерны **элювиальная** направленность миграционных процессов, а для 2-й — транзитно-аккумулятивная (табл. 2).

Профили осваиваемых почв в сравнении с нативными аналогами характеризуются заметно меньшим масштабом миграции $C_{орг}$ ВОВ вследствие незначительного запаса органометаллических остат-

ков, оставшихся в профиле после раскорчевки леса и планировки поверхности. В зрелом еловом лесу (разрез 25) **источниками ВОВ** с кислотными и комплексобразующими свойствами, кроме лесной (слабо оторфованной) подстилки и опада, являются вегетативные органы вечнозеленой хвойной растительности и кустарнички. При этом в мелиорированных почвах наблюдается, по-видимому, **деградация** иллювиального почвенно-геохимического барьера (гор. В_г): градиент барьера миграции (G^*) для гор. В_г (разрезы 26 и 28), рассчитанной по Перельману А. И. (1975), имеет **отрицательное значение**. Следовательно, в гор. В_г в современный период протекает активное обновление веществ. При этом масштаб мобилизации и выноса продуктов реакции из этого горизонта оказывается несколько больше их сорбции. Для разреза 26 величина G оказалась равной минус $3,02 \text{ г/м}^3\text{-год}^1$, а для разреза 28 — $3,47 \text{ г/м}^3\text{-год}^1$. В принципе эти величины одного порядка. В нативной (лесной) почве (разр. 25) гор. В, функционирует иначе — в **сорбционном режиме** и величина G данного почвенного барьера

* Градиент барьера $G = dm/1$ рассчитывается как соотношение разности масс мигрантов на «входе» и «выходе» из барьера к его мощности, который может быть одно- и двусторонним [22].

Таблица 2

**Масштаб вертикальной нисходящей миграции углерода ВОВ
и их состав по ЭПА на стационаре «Няндомский»
(наблюдения 1 год)**

Горизонт и глубина установок сорбционных лизиметров, см	Объем воды в лизиметрах, л	C _{орг} ВОВ, г/м ² · год ⁻¹			C _{орг} ВОВ в водо-ацетономом элюате, % C _{общ} ВОВ	Сорбция и минерализация С ВОВ горизонтами почв, % к поступившему
		общий вынос	вынос C _{орг} при сорбции на Al ₂ O ₃	вынос C _{орг} при сорбции на активированном угле		

Разр. 26 **I. Агроландшафт полевой лугово-пастбищный:**
— осваиваемая* среднеподзолистая иллювиально-железистая супесчаная на флювиогляциальных отложениях. **IV ЭПС**

A _n - 23	He опр.	6,2±0,4	2,7	3,5	32,7	—
A ₂ - 29	— » —	6,2±0,2	2,6	3,6	44,6	—
B _f - 43	— » —	7,5±0,3	4,0	3,5	41,9	—

Разр. 27 — осваиваемая дерновая перегнойно-глеевая оподзоленная на карбонатной завалуненной морене. Западина. **V ЭПС**

A _n - 26	2,7	11,0±1,1	2,7	8,3	24,4	—
A _{2g} - 44	2,5	7,2±0,8	3,0	4,2	61,8	34,5

Разр. 28 — осваиваемая* слабоподзолистая иллювиально-железистая супесчаная техногенно деградированная. Нижняя треть микросклона. **IV ЭПС**

A _n - 20	He опр.	5,6±0,7	3,1	2,5	33,2	—
B _f - 49	— » —	7,3±0,9	2,4	4,9	66,3	—

Разр. 25 **II. Ландшафт лесной:** ельник-черничник зеленомошный подзол иллювиально-железистый песчаный на флювиогляциальных отложениях. Выровненный водораздел с развитым микрорельефом

A ₀ ^τ - 8	1,7	40,0±2,5	19,3	20,7	67,6	—
A ₂	1,1	30,0±3,4	7,2	22,8	63,2	25,0
B _f (h) - 64	0,5	21,±3,9	7,5	14,2	33,1	27,7
A ₀ ^{τ**} - 3	1,1	9,7±1,2	He опр.	9,7	79,4	—

* По новой классификации данная почва называется: «агроподзол гетерогенный альфегумусовый» (Шишов Л. Л., Добровольский Г. В., 2000).

** Учет миграции ВОВ из «свежей» подстилки (мхов) с 20 июня по 15 сентября; C_{орг} — органический углерод, который диагностировался по методу И.В. Тюрина.

составляет положительную величину — $12,97 \text{ г/м}^3 \cdot \text{год}^{-1}$.

Компонентный состав мигрантов — ВОВ в изучаемых почвах также неоднозначен. В составе ВОВ освоенных горизонтов ($A_{\text{пах}}$, разр. 26 и 28) заметно преобладают специфические органические продукты **фульвокислотного характера**. На их долю приходится в среднем 67% С ВОВ. В гор. A_2 и В, (разр. 26) увеличивается доля индивидуальных органических веществ до 44% C^{\wedge} , очевидно, продуктов трансформации фульвокислот с максимумом в гор. V_f **разреза 28**, что связано с пульсацией верховодки в этой трансакумулятивной геохимической фации. Не исключено, что **формирование гор. V_f в альфегумусовых подзолах**", приуроченных к окрайкам болот и понижений в таежных ландшафтах, обусловлено сезонной пульсацией верховодки, заметно обогащенной природными фульво-соединениями.

В ненарушенной (лесной) почве соотношение групп мобильных органических веществ мигрантов иное: в вер-

хних генетических горизонтах A_1 и A_2 (разр. 25) в составе ВОВ заметно преобладают индивидуальные низкомолекулярные органические вещества (полифенольные соединения и органические алифатические кислоты). После их взаимодействия с химическими соединениями гор. V_f в растворах резко возрастает доля специфических органических продуктов — фульвокислот и металлорганических комплексов. Масштабное химическое загрязнение лесных экосистем **тяжелыми металлами** (как показали исследования на стационарах **вблизи г. Апатиты**) [5] также приводит к заметному увеличению доли наиболее химически активных и устойчивых к осаждению металлами фульвокислот в составе мигрируемых ВОВ. Известно, что компоненты ВОВ — одна из форм круговорота углерода в биосфере. Среди ВОВ почв таежной зоны присутствуют органические соединения **индивидуальной и специфической природы**, в том числе поверхностно-активные вещества ПАВ,

* По-видимому, песчано-супесчаный гранулометрический состав отложений в понижениях рельефа стационара связан с эрозией двучленов на склонах. Таким образом, по окрайкам болот формируются новые почвы - Al-Fe подзолы, а двучленные подзолистые почвы трансформируются в тяжело- и среднесуглинистые аналоги с однородным сложением профиля. Эти почвы очень «молодые».

стимуляторы и ингибиторы роста, компоненты с кислотными и комплексобразующими свойствами [2, 5, 8, 15, 22].

Различают **частные (коллоидно-химические)** и общие (**экологические**) особенности ВОВ. Первые обусловлены своеобразием их компонентного состава, а вторые — отражают взаимосвязи между различными группами живых организмов реальной экосистемы. **Коллоидно-химические** параметры ВОВ (как, впрочем, и гумусовых веществ) определяются дифильностью их молекул, способностью последних к реакции ассоциации в водных растворах, в результате чего образуются качественно новые (термодинамически устойчивые) — конвергентные макроструктуры органических и металлоорганических соединений, в частности, с развитой поверхностью фаз, приобретающие таким образом возможность к сорбции веществ и склонность к последующим изменениям молекулярного состава структуры и свойств. По-видимому, так и формируются начальные фрагменты — **универсальные структурные блоки** ГС, «доработка» которых завершается после их сорбции минералами и зрелыми молекулами ГС. В кинетике это явление носит название **автокаталитичности**: подобное воспроизводит подобное [24].

Данный процесс изменения прежних и образования новых ГС в почвах непрерывен и периодичен. Их соотношение в принципе и составляет основу трансформации молекул гумусовых веществ [22]. Вопрос только в том, как и с какой скоростью реализуются данные процессы в реальных почвах?

В современных условиях, когда экосистемы Земли испытывают мощную антропогенную нагрузку, исследование **экологических функций ВОВ** превращается в одну из актуальных и приоритетных задач. С ней связаны, например, процессы обмена веществ и энергии в экосистемах, темп и масштаб мобилизации экотоксикантов из инертных (труднорастворимых) продуктов техногенеза в раствор, активизация химических свойств гидрофобных структур ГС, участие в обновлении зрелых и формировании новых молекулярных структур ГС, явление аллелопатии, почвенно-геохимическая миграция веществ, осадкообразование и другие.

Следовательно, сведения об экологических функциях ВОВ, их составе и свойствах в **фоновых** и **техногенно загрязненных** генетических горизонтах почв являются характерным **диагностическим критерием** антропогенного воздействия на экосистемы. При этом форма **миграции**,

в частности различных металлов, находится в тесной зависимости от компонентного состава ВОВ. Так, в бурых горно-лесных почвах Приморья Си, РЬ и Zn мигрируют преимущественно в виде ионно-молекулярных соединений. Среди них 63-90% приходится на устойчивые и миграционно-способные металлорганические комплексы. Причем основная роль в комплексообразовании с ионами указанных тяжелых металлов принадлежит компонентам ВОВ с низкими величинами молекулярных масс — 500—1000 а. е. м. [1].

Присутствие экотоксикантов (в частности, ионов тяжелых металлов) вызывает **сукцессию микроорганизмов**, так или иначе приводящие к доминированию грибов — активных кислотообразователей и их патогенных видов, которые наиболее легко адаптируются к продуктам техногенеза [18]. Их приспособление, по-видимому, обусловлено нейтрализацией негативных свойств, присущих многим ионам металлов Al^{3+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , с помощью органических лигандов, в частности ВОВ [2, 16]. Последние могут не только повышать подвижность металлов в почвах, но и понижать ее, что зависит как от молярных масс фульвокислот, так и от соотношения в комплексах

ТМ:ВОВ. Показано, в частности, что при взаимодействии катионов Fe^{3+} с фракциями фульвокислот (ММ = 330-740 а. е. м.) растворимые железо-фульватные комплексы образуются при молярном соотношении Fe^{3+} : С ФК = 0,9-1,5 (А. Д. Фокин, А. И. Карпухин, 1972). Более широкие молярные отношения между тяжелым металлом Fe^{3+} и $C_{орг}$ ФК приводят к частичной **коагуляции ФК** (фракционированию группы ФК по молекулярным массам). Аналогичную картину наблюдал Ф. Стивенсон при образовании комплексов Си и РЬ с гидрозольями почвенных гуминовых кислот при соотношении масс ТМ : ГК = 2:1 (F. Stevenson, 1970). Особенности взаимодействия ФК природных вод с ионами различных металлов приведены в цикле работ исследователей ГЕОХИ им. В. И. Вернадского [2]. Указанными авторами выделены **три группы ионов металлов: 1 — негидролизующиеся ионы** (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} и др.), образующие с ФК растворимые комплексные соединения в широком диапазоне рН; **2 — легкогидролизующиеся ионы** (Au^{+} , Si^{2+} , Pb^{2+} , Fe^{3+} и др.); благодаря их комплексообразованию с ФК растворимость этих элементов, а следовательно, и миграционная способность **возрастают на 2-3 порядка;**

растворимые комплексы металлов образуются в результате реакции с новыми, ассоциированными формами ФК; 3 — **ионы редкоземельных элементов**, образующие с ФК нерастворимые и растворимые комплексные соединения в зависимости от специфики химических реакций. В этом случае взаимодействие ионов металлов с ФК сопровождается образованием **ряда растворимых катионных, анионных и нейтральных комплексных соединений**, а также нерастворимых их форм. Характер комплексных соединений определяется прежде всего **природой иона металла, степенью дисперсности ФК в растворе, значением рН раствора** и другими факторами.

Таким образом, в специальной литературе имеется определенная информация о формах ТМ, движущих силах и специфике их миграции в различных типах почв и ландшафтах. Вместе с тем особенности трансформации мелиорантов, сорбция ими (и сорбентами) ионов ТМ изучены недостаточно.

Кроме информации о потоках мигрантов важно знать

особенности мобилизации ионов металлов (в том числе и ТМ) из труднорастворимых соединений — CaCO_3 ... и формы их миграции в почвах и ландшафтах.

Ниже рассматриваются **результаты натурного (полевого) опыта** по изучению форм и масштаба водной миграции ряда тяжелых металлов (ионов Pb^{2+} , Cd^{2+} и Zn^{2+}) в верхнем гумусово-аккумулятивном горизонте **лесной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве ЛОД Тимирязевской академии**. Для этого использовали метод сорбционных лизиметров (МСЛ). Сорбенты — активированный уголь «БАУ» и катионит КУ-2 в H^+ форме, который может сорбировать положительно заряженные ионы (простые, например, $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ и сложные — кадмийорганические комплексные соединения, табл. 3).

Поскольку подобные опыты специалистами еще не проводились, нами были заложены сорбционные лизиметры с сорбентами по 3—4 колонки в 3 сериях (контроль) для достоверной оценки масштаба выноса ТМ из верхнего генетического горизонта почвы*. В двух

* Техногенные продукты за длительный (десять лет) период поступали в экосистемы ЛОД, включались в биогеохимический круговорот, а часть массы ТМ мигрировала в почве в форме мобильных соединений после трансформации техногенных продуктов при участии органических и иных лигандов.

Мобилизация и миграция ионов тяжелых металлов в гор. А₀ и А₁ дерново-подзолистой среднесуглинистой почве Лесной опытной дачи МСХА. Продолжительность опыта: июнь 1999 — июнь 2000 гг. (Парцелла: листовница + подлесок из клена)

Вариант опыта, глубина установки колонок, см	Зна- че- ния при- знака	ТМ, вытесненные из сорбентов, мг/м ² ·год ⁻¹						Общий масштаб миграции ионов тя- желых металлов за 1 год (акт. уголь + КУ-2), мг/м ²		
		акт. уголь — 2% NH ₄ OH			0,1 н. HNO ₃ с КУ-2					
		Pb ²⁺	Cd ²⁺	Zn ²⁺	Pb ²⁺	Cd ²⁺	Zn ²⁺	Pb ²⁺	Cd ²⁺	Zn ²⁺
1. Контроль 1* сорбционные ко- лонки только с сорбентами — КУ-2 и акт. углем (10 см)	\bar{x} σ Р (%)	31,5 13,4 42,5	2,5 0,8 32,0	72,4 54,4 75,2	13,7 4,0 28,8	4,2 7,9 188,3	378,4 24,2 6,4	45,2	6,7	450,8
2. Контроль 2 — колонки толь- ко с акт. углем и КУ-2 (12 см)	\bar{x} σ Р (%)	14,3 1,7 12,2	1,3 0,4 30,4	44,9 31,6 69,8	10,0 7,6 75,9	4,2 7,9 90,3	378,4 24,2 80,1	24,3	2,0	195,5
3. Контроль 3 — колонки с акт. углем и КУ-2 (12 см)	\bar{x} σ Р (%)	18,1 3,9 21,6	1,7 0,5 29,3	69,7 56,9 81,7	15,6 8,3 53,4	1,5 0,2 11,2	190,2 74,4 39,1	33,7	3,2	259,9
Среднее по варианту конт- роль	\bar{x} σ Р (%)	21,3 9,0 42,4	1,8 0,6 33,9	62,3 15,2 24,3	13,1 2,9 21,7	2,1 1,8 87,3	239,7 121,8 50,8	34,4 10,5 30,4	4,0 2,4 61,0	302,0 132,8 44,0
Сорбция ТМ акт. углем и КУ-2, % к общему масш- табу миграции		61,9	45,0	20,6	38,1	55,0	79,4	100	100	100

* В контроле 1, 2, 3 установлены серии колонок (3-4 повторности) с катионитом КУ-2 в Н+ форме (верхний слой) и активированном угле (нижний слой) — над дренажем. Р — варьирование признака: σ/\bar{x} .

других сериях (вариантах) опыта изучали способность порошка доломита, размещенного слоем 1,5-2,0 мм в колонках по 7-10 г, сорбировать миграционно-способные формы ТМ, попавшие в зону лизиметров (табл. 4). Установлено, что **активированный уголь** в среднем по контрольному варианту сорбировал 21,3 мг/м²-год⁻¹ ионов РЬ²⁺ (или 61,9% к общей массе). Можно допустить, что **свинец** мигрирует в гор. А₁ преимущественно в форме водорастворимых РЬ-органических соединений, которые имеют **отрицательный или нулевой знак** заряда (и не поглощаются катионитом КУ-2 в Н⁺ форме). Остальная масса свинца мигрирует в виде солевой формы с положительным знаком заряда и в виде электронеутральных молекул.

Масштаб миграции Cd²⁺ в сравнении со свинцом оказался на порядок меньше: 4 мг/м² Cd²⁺ и 34,4 мг/м² РЬ²⁺. При этом большая часть Cd²⁺ мигрирует **в форме простых и сложных солей** с положительным знаком заряда и сорбируется **катионитом** в колонках (55,0% к общей массе Cd). Причем заметная часть миграционных форм Cd поглощается активированным углем (45,0%), т. е. предположительно мигрирует в виде или отрицательно заряженных Cd-органических комп-

лексов, или сложных молекул с нулевым знаком заряда.

Цинк перемещается в гор. А₁ преимущественно в форме **положительно заряженных катионов** (простых или сложных), что можно уточнить в дальнейших опытах с помощью метода гель-хроматографии. Например, А. И. Карпухин (1988) показал, что простые ионы металлов передвигаются по колонке с гелем декстрана G-10 **очень медленно** в сравнении с устойчивыми металл-органическими комплексами (с молекулярными массами >1000), поскольку они (как и ионы легкорастворимых солей) сначала диффундируют в частицы (гранулы) геля, а потом выходят из них. Этот прием, как известно, широко используется и для обессоливания препаратов гумусовых соединений.

В 4-м варианте, где изучалась сорбция миграционно-способных форм ТМ тонким слоем порошка доломита, было установлено: 1) ионы РЬ²⁺ весьма активно сорбируются указанным химическим мелиорантом. В сорбентах, располагавшихся в колонках ниже слоя СаСО₃ • MgСО₃, было диагностировано: 5,3 мг/м² РЬ (**в контроле 21,3**), 0,84 мг/м² Cd (**в контроле 1,8**) и 68,3 мг/м² Zn (**в контроле 62,3**). В отношении Zn наблюдается **«отрицательная сорбция»**: 1) мобилизация Zn²⁺ из мелио-

Миграция ионов тяжелых металлов в дерново-подзолистой почве ЛОД МСХА и их сорбция CaSO_3 , MgCO_3 и сорбентами в сорбционных лизиметрах. (Парцелла : листовница + подлесок из клена)

Вариант опыта, глубина установки колонок, см	Значения признака	ТМ, вытесненные из сорбентов, мг/м ² · год ⁻¹						Общий масштаб миграции ионов тяжелых металлов (сорбция сорбентами, мг/м ² · год ⁻¹)		
		акт. угля — 2% NH_4OH			КУ-2 — 0,1 н. HNO_3			Pb ²⁺	Cd ²⁺	Zn ²⁺
		Pb ²⁺	Cd ²⁺	Zn ²⁺	Pb ²⁺	Cd ²⁺	Zn ²⁺			
4. Порошок доломита и сорбенты: акт. уголь и КУ-2	\bar{x}	5,3	0,84	68,3	10,6	2,2	146,3	15,9	3,04	214,6
	σ	1,1	0,23	0,33	1,7	0,3	68,4			
Сорбция ионов ТМ доломитом (числитель), % к контролю (знаменатель)	\bar{x}	16,0*	0,96	Отрицат.	2,5	Отрицат.	93,4	18,5	0,96	87,4
	σ	75,1	53,3	сорбция	19,1	сорбция	39,0	53,8	24,0	28,9
5. Без доломита: введено 10 мг CdCl_2 + сорбенты (акт. уголь + КУ-2)	\bar{x}	13,3	1,8	104,2	10,0	1,4	57,6			
	σ	4,4	0,1	91,0	3,8	0,2	61,5	23,3	3,2	161,8
	P	33,3	6,3	87,3	38,0	15,2	106,8			
Сорбция ТМ сорбентами (без доломита), но в присутствии ионов Cd^{2+} (числитель), % к контролю (знаменатель)	\bar{x}	10,0	1,0	Отрицат.	3,1	0,7	182,1	13,1	1,7	182,1
	σ	46,9	55,6	сорбция	23,7	33,3	76,0	38,1	42,5	60,3
6. Порошок доломита + 10 мг CdCl_2 + сорбенты, мг (числитель), % к контролю (знаменатель)	\bar{x}	9,0	0,73	57,5	4,1	0,36	114,6	13,1	1,09	172,1
	σ	42,3	40,6	92,3	31,3	17,1	47,8	38,1	27,3	57,0

* По разности между параметрами «контроль» (средние значения) и вариантами с доломитом плюс те же сорбенты.

ранта; 2) порошок доломита поглотил 75,1% Pb^{2+} , 53,3% Cd^{2+} , а Zn^{2+} на доломите сорбировался по типу отрицательной сорбции; 3) часть катионов Cd^{2+} , вытесненных из КУ-2 0,1 н. HNO_3 , также была мобилизована из мелиоранта в раствор преимущественно в форме катионов.

В 5-м варианте (без доломита, но с внесением в лабораторию в виде раствора 10 мг $CdCl_2$) по сравнению с контролем сорбция Pb активированным углем несколько снизилась — с 61,9 до 46,9%; в отношении Cd она незначительно возросла — с 45,0 до 55,6%, а **Zn не сорбировался вообще**, что связано, очевидно, с природной флуктуацией загрязнения экосистем поллютантами. На катионите КУ-2 присутствие ионов Cd^{2+} незначительно уменьшило поглощение катионов Pb^{2+} (с 38,1 до 23,7%) и Cd^{2+} (с 55,0 до 33,3%). Сорбция ионов Zn^{2+} осталась прежней: 79,4 — (в контроле) и 76,0% — в 5-м варианте.

Таким образом, использование сорбционных лизиметров позволяет получить **новую информацию** как о трансформации, так и миграции различных химических соединений в почвах и ландшафтах. В этой связи вполне обоснован интерес исследователей к изучению экологических функций ВОВ таежных экосистем.

Выводы

1. Опыт использования лизиметрического метода показывает, что при изучении процессов **внутрипочвенной миграции и трансформации веществ** в почвах и каскадных элементарных геохимических ландшафтах наиболее приемлемыми являются методы радиоактивных индикаторов и сорбционных лизиметров.

2. В настоящее время МСЛ применяется: 1) при исследовании процессов абиогенной миграции ВОВ и иных продуктов (например, при техногенном загрязнении компонентов ландшафтов химическими экотоксикантами); 2) при диагностике химических соединений, формирующихся при трансформации в сорбционных лизиметрах как органогенных субстратов, так и минеральных веществ — коллоидов, мелиорантов, удобрений, нетрадиционных порошков агроруд; 3) при совместном изучении биогенного и абиотического потока элементов питания, а также C , N , S и иных химических элементов.

3. Предложен новый методический подход для оценки абиогенного (внутрипрофильного) потока водорастворимых веществ (и в частности ВОВ) в пахотных почвах агроландшафтов тайги. Он основан на информации о

СПП, которую целесообразно учитывать и рассматривать как **этап познания геохимического ландшафта**.

4. С помощью МСЛ установлено, что вертикальный нисходящий вынос ВОВ в профилях почв сопряженных элементарных почвенных ареалов мелиоративного массива имеет определенную геохимическую направленность: отмечен их **вынос из автоморфных** подзолистых почв микродоразделов ($6,5-7,5 \text{ г/м}^2\text{-год}^{-1}$) и сосредоточение в **трансаккумулятивных** микроландшафтах западин и потяжин с дерново-перегнойными глеевыми почвами, где он составляет $7,2-11,0 \text{ г/м}^2\text{-год}^{-1}$. В нативных (фоновых) аналогах (почвы зрелых таежных лесов) вынос составляет $22-40$ (до 90) $\text{г/м}^2\text{-год}^{-1}$. При этом отмечена химическая деградация веществ гор. V_f .

5. При техногенном (аэральном) загрязнении лесных массивов обнаруживается резкий скачок масштабов мобилизации и абиогенной (внутрипрофильной) миграции $C_{орг}$ ВОВ, по-видимому, вследствие экстремального увеличения массы растительного опада. При этом в составе ВОВ достоверно увеличивается доля специфических низкомолекулярных органических соединений — фульвокислот - активных природных мигрантов и реагентов.

6. Изучены особенности трансформации известковых мелиорантов в лесопарковом ландшафте г. Москвы (ЛЮД) с помощью метода сорбционных лизиметров. Установлено, что наиболее активно данный процесс происходит в гор. A_2 лесных дерново-подзолистых почв, где в составе ВОВ преобладают наиболее химически активные вещества ВОВ - фульвокислоты. Показано, что в гумусово-аккумулятивном горизонте мобилизация в раствор и последующий нисходящий вынос ряда ТМ (РЬ, Cd и Zn), рассчитанный по 9-12 контрольным лизиметрам, составил соответственно ($\text{мг/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$): 34,4; 4,0 и 302,0.

7. При трансформации образцов порошка доломита в сорбционных лизиметрах отмечена сорбция ионов ТМ на **карбонатном барьере**. В сравнении с контрольным вариантом сорбция для РЬ составила — 53,8%; для Cd — 24,0%. Следовательно, ионы ТМ не полностью поглощаются порошком доломита. Возможно, здесь проявляется конкурирующее воздействие ионов кальция, которые также мобилизуются в раствор из мелиоранта под воздействием фульвокислот почвы. Для Zn обнаружено явление отрицательной сорбции.

8. При оценке загрязнения компонентов нативных и

агроэкосистем экотоксикантами (например, тяжелыми металлами) необходима не только констатация параметров их концентрации (что, в принципе, на начальном этапе важно и актуально), но и **обоснование биогеохимических функций ВОВ**, определяющих процессы трансформации и миграции веществ в почвах и геохимических (сопряжённых) ландшафтах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аржанова В. С., Елпатьевский П. В.* Лизиметрические исследования в системе геохимического мониторинга. — Химия в сельск. хоз-ве, 1982, № 12, с. 38-40. — 2. *Варгил Г. М., Велюханова Т. К., Кошечева И. Я.* Геохимическая роль гумусовых кислот в миграции микроэлементов. — Сб.: Гумусовые вещества в биосфере. М.: Наука. 1993. с. 97-117. — 3. *Глазовская М. А.* Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям. М.: МГУ, 1997. — 4. *Говорёнков П. Ф.* Влияние материала лизиметра на показатели химического состава лизиметрических вод. — Почвоведение, 1977, № 6, с. 41-49. — 5. *Горбачева Т. Т.* Состав и свойства вод Al-Fe-гумусовых подзолов Кольского полуострова (при-

родные и техногенные аспекты). — Автореф. канд. дисс. Апатиты, 2001. — 6. *Зубкова Т. А., Карпачевский Л. О.* Матричная организация почв. М.: Русаки. 2001. — 7. *Карпачевский Л. О., Яшин И. М.* **Предисловие** к Сб.: Лизиметрические исследования почв. Тез. докл. 1-й Всерос. конф. М.: МГУ, 1998, с. 8-12. — 8. *Кауричев И. С., Яшин И. М., Черников В. А.* Теория и практика метода сорбционных лизиметров в экологических исследованиях. М.: МСХА, 1996. — 9. *Кочетков А. П.* Крупногабаритные лизиметры с корпусом из полиэтиленовой пленки. — Сиб. вестн. с.-х. науки, 1977, № 6, с. 57-68. — 10. *Пегое С. А., Хомяков Д. М., Хомяков П. М.* Влияние глобальных изменений климата на социально-экономическое положение России. В Сб. Глобальные и региональные изменения климата и их природные и социально-экономические последствия. М.: ГЕОС, 2000, с. 60-70. — 11. *Помазкина Л. В., Котова Л. Г., Лубнина Е. В.* Биогеохимический мониторинг и оценка режима функционирования агроэкосистем на техногенно загрязнённых почвах. Новосибирск: Наука. Сибир. издат. фирма РАН. 1999. — 12. *Раскатов А. В., Соколова С. А.* Изучение миграции Zn и Cd с помощью метода сорбционных лизиметров. — Сб. Ли-

- симметрические исследования почв. Тез. докл. 1-й Всерос. конф. М.: МГУ, 1998, с. 239-243. — **13.** *Рачинский В. В. и др.* Исследование потоков почвенной влаги и миграция веществ в подзолистых почвах изотопно-индикаторным методом. — Почвоведение, 1982, № 2, с. 67-73. — **14.** *Семенов Ю. М., Мартынов А. В., Чернегова Л. Г. и др.* Ландшафтно-геохимические подходы к оценке устойчивости природных образований. — Сб.: Биогеохимические основы экологического нормирования. М.: Наука, 1993, с. 211-261. — **15.** *Снакин В. В., Присяжная А. А., Рухович О. В.* Состав жидкой фазы почв. М.: РЭФИА, 1997. — **16.** *Снытко В. А., Семенов Ю. М., Мартынов А. В.* Ландшафтно-геохимический анализ геосистем КАТЭКа. Новосибирск: Наука, 1987. — **17.** *Сысуев В. В.* Моделирование процессов в ландшафтно-геохимических системах. М.: Наука, 1986. — **18.** *Техногенные потоки вещества и состояние экосистем.* М.: Наука, 1981. — **19.** *Шейн Е. В., Початкова Т. И., Умарова Б. И.* Почвенно-экологические исследования на станции изолированных лизиметров в Московском университете. — Почвоведение. 1994, № 11, с. 112-117. — **20.** *Шишов Л. Л. и др.* Лизиметры в почвенных исследованиях. М.: РАСХН, 1998. — **21.** *Шишов Л. Л., Муромцев Н. А., Большаков В. А.* Использование метода вакуумных проб-отборников в лизиметрических исследованиях. — Докл. РАСХН, 1999, с. 39-43. — **22.** *Яшин И. М., Шишов Л. Л., Раскатов В. А.* Методология и опыт изучения миграции веществ. М.: МСХА, 2001. — **23.** *Яшин И. М., Раскатов В. А., Джим Аллафи.* Экспериментальное моделирование процессов трансформации мелиорантов. — Сб.: Проблема фосфора и комплексное использование нетрадиционного минерального сырья в земледелии. М.: РАСХН и ВНИПТИХИМ, 2000, с. 54-66. — **24.** *Stevenson F. J.* Humus Chemistry. Genesis, composition, reactions. John Wiley. New York, 1982.

*Статья поступила
28 ноября 2002 г.*

SUMMARY

Specific features of applying lysimetric method when studying transformation and abiogenous migration of substances in soils of native, meliorated and forest-park landscapes in taiga zone are considered.