

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 631.42:502.56

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАГРЯЗНЕННЫХ МЕТЕОРНЫХ ВОД С ПОЧВОГРУНТАМИ УСТЬ-СЕЛЕНГИНСКОЙ ВПАДИНЫ

© 2016 г. А. М. Плюснин, Д. И. Жамбалова

Геологический институт СО РАН, ул. Сахьяновой, 6А, Улан-Удэ, 670047 Россия.
E-mail: plusnin@gin.bscnet.ru; dachima@mail.ru

Поступила в редакцию 04.06.2014 г.

После исправления. 08.12.2014 г.

Приведены результаты исследования взаимодействия загрязненных азотсодержащими соединениями метеорных вод с четырьмя типами почв, наиболее широко распространенных в пределах Усть-Селенгинской впадины. Экспериментально установлено, что при инфильтрации атмосферных осадков и искусственных растворов через почвы происходит трансформация их химического состава. Нитрат-ион в вегетационный период интенсивно извлекается из растворов биотой, аммоний-ион не поглощается биотой, его относительная концентрация увеличивается с глубиной. Аммоний- и нитратсодержащие растворы выщелачивают из почв цинк, железо, марганец, мышьяк, медь, свинец, наиболее высокие концентрации которых установлены в лизиметрических водах серых лесных и осушенных торфяных почв.

Ключевые слова: Байкал, Усть-Селенгинская впадина, химический состав, микроэлементы, почвы, поверхностные и подземные воды, атмосферные и лизиметрические воды.

ВВЕДЕНИЕ

На ландшафты, поверхностные и подземные воды Усть-Селенгинской впадины негативно воздействуют несколько факторов – часто выпадают кислые атмосферные осадки; в результате осушения болот понижен уровень грунтовых вод и происходит интенсивное окислительное разложение торфов; и, наконец, развитое сельскохозяйственное производство загрязняет территорию сточными водами, пестицидами, гербицидами и удобрениями. В активную миграцию в поверхностных и подземных водах вовлечен ряд токсичных химических элементов и соединений. На значительной территории впадины подземные воды загрязнены аммонием, нитратом, органическими веществами, сульфатом, железом, марганцем и др. микроэлементами, в зоне активного водообмена сформирована восстановительная среда. Очаг загрязнения поверхностных и подземных вод, расположенный непосредственно на побережье Байкала, существует уже длительное время, но до сих пор не выяснено какие факторы оказались решающими в создании здесь неблагоприятной экологической ситуации.

Авторы экспериментально изучили взаимодействие атмосферных осадков и искусственных

растворов, содержащих нитраты и аммоний, с почвогрунтами при их инфильтрации через разные типы почв. Правомерность постановки этой работы связана с тем, что выпадающие во впадине атмосферные осадки практически круглый год загрязнены азотсодержащими соединениями, что связано с трансграничным переносом токсичных газов северо-западными ветрами из районов расположения химических комбинатов и выбросами местных предприятий. Ранее проведенные работы показали значительные различия в качественном и количественном составе загрязнений подземных вод в разных частях впадины. Установлена зональность в распределении микроэлементного состава подземных вод, которая может быть связана с различными условиями взаимодействия атмосферных осадков при инфильтрации их через почвогрунты [7].

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для исследования взаимодействия загрязненных азотом атмосферных осадков с почвогрунтами проведен эксперимент на модельных участках. В экспериментах использовался искусственный раствор нитрата аммония (NH_4NO_3) с концентрацией ионов аммония 4.36 мг/л,

нитрат-ионов –15 мг/л. Эта концентрация соли в растворе соответствует содержаниям аммония и нитрата в атмосферных осадках и почвенных водах района. Раствор в количестве 15–35 л распыляли с помощью пульверизатора на поверхность ненарушенной почвы, под которой размещали по два лизиметра на каждой точке наблюдения. Лизиметры помещали на разную глубину: первый – в пределах гумусового горизонта, непосредственно в месте расположения основной массы корневищ травянистой растительности, при его установке корни в этом месте удалялись; второй – в осадочных отложениях под гумусовым горизонтом. Чтобы исключить случайное нарушение естественной проницаемости почв при установке, верхний лизиметр располагали не вблизи поверхности, а на глубине 15 см. В Забайкалье мощность гумусового горизонта обычно не превышает 30 см, поэтому второй лизиметр располагали на этой глубине, во всех случаях он находился под толщей гумуса. Лизиметры были пространственно разнесены, чтобы исключить перехват потока инфильтрующихся с поверхности вод верхним лизиметром к нижнему. Площадь собирающей поверхности всех лизиметров была одинаковой и составляла 6 дм². Перехватываемый лизиметрами раствор собирался по системе шлангов в колбы, размещенные в специально оборудованной нише, не вскрывая которую, раствор можно было извлечь из колб на поверхность с помощью насоса. Обычно пробу лизиметрических вод отбирали через сутки после распыления растворов. Таким образом, на каждой точке наблюдения имелась возможность изучить химический состав инфильтрующихся растворов в пределах гумусового горизонта и под ним в осадочных отложениях. Проба воды из первого лизиметра характеризует химический состав поступающих с поверхности вод, во втором – после ее взаимодействия с биотой и косным материалом почв.

До начала эксперимента с искусственными растворами в каждой точке наблюдения отбирались пробы природных лизиметрических вод. Эксперименты проводились в нескольких повторах в июле–сентябре 2006 и 2007 гг.

Анализ содержаний нитрат-иона и аммония в растворе проводился методом мокрой химии, микроэлементов – методом ИСП АЭС на приборе ORTIMA 2000TM-DV по аттестованным методикам.

При выборе участков для проведения экспериментальных исследований руководствовались физико-геологическими условиями территории. Модельные участки отражали наиболее типичные

ландшафты исследуемого района, площадки имели горизонтальное залегание, были покрыты однородной растительностью. При выборе мест заложения почвенных разрезов, авторы опирались на имеющиеся материалы геологического, ландшафтно-геохимического, почвоведческого исследования территории, проведенные предшественниками [8].

В точке наблюдения № 1 (рис. 1) распространены аллювиальные луговые почвы, которые формируются на песчано-супесчаном аллювии, на интенсивно дренируемых, периодически заливаемых участках поймы под разнотравно-злаковой луговой растительностью в условиях оптимального атмосферно-грунтового увлажнения. Точка наблюдения № 2 расположена на серых лесных почвах, которые чаще формируются в высокой части прирусловой поймы и на других повышенных её участках на слоистых песчано-супесчаных аллювиальных наносах. Точка № 3 расположена на торфяных почвах. В пределах торфяников Кабанского массива почвы подразделяются на осоковые, осоково-гипновые, осоково-вейниковые, хвощевые, манниковые, древесно-травяные и древесно-травяно-гипновые, древесно-гипново-сфагновые и древесно-кустарниково-сфагновые. Из всех разновидностей торфа преимущественное положение занимает осоковый торф, где и проводились наблюдения. В точке наблюдения № 4 распространены дерново-лесные почвы, формирование которых происходит на песчаных и супесчаных отложениях под травянистыми березовыми и изреженными сосново-лиственничными лесами на слаборасчлененных и выровненных склонах террас и увалов в условиях атмосферного увлажнения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что элементный состав почвенных вод отражает химический и минералогический состав почвообразующих пород и сформированных на них почв, а уровень содержания элементов в водах определяется, прежде всего, концентрацией их подвижных соединений в почвообразующих породах и почвах [9]. Поэтому был детально проанализирован микроэлементный состав почв и почвогрунтов на модельных участках. Образцы для анализа отобраны из различных горизонтов, каждая точка наблюдения характеризуется 20–26 пробами. В табл. 1 представлены результаты анализа проб почв, произведенных рентгено-флюоресцентным методом. Результаты приведены в сопоставлении с “кларком” элементов по А.П. Виноградову (1962). Из таблицы видно, что

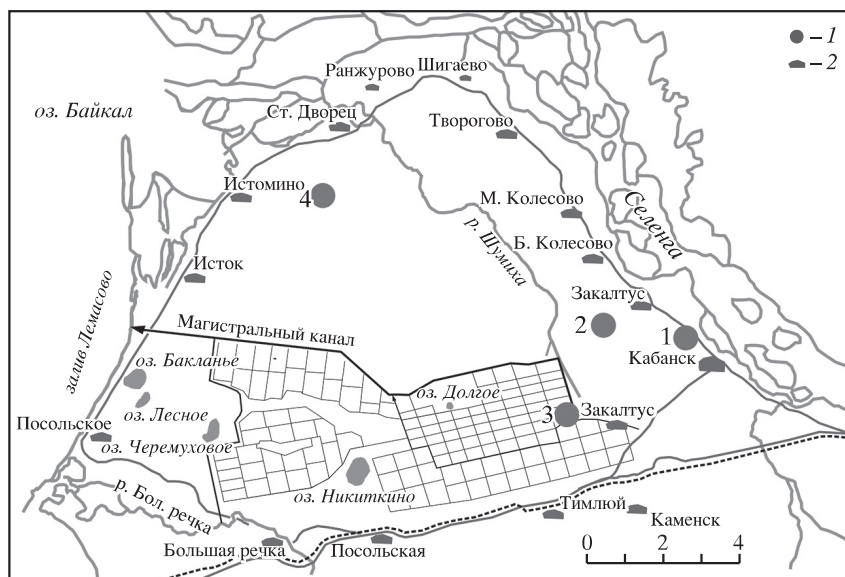


Рис. 1. Схема расположения модельных участков эксперимента. 1 – точки отбора проб, 2 – населенные пункты.

концентрация ряда химических элементов в исследованных почвах значительно ниже “кларковых” значений, среди них такие элементы, как Y, Zr, Nb, Sn, La, Ce. Другая группа элементов (Rb, Sr, Ba) имеет концентрацию на уровне “кларковых” значений, по разрезу почв их содержание не изменяется, а относительное стандартное отклонение не превышает 10%. По этим данным можно заключить, что они почти не мигрируют по разрезу почв и практически не выносятся почвенными водами. Эти две группы элементов в сложившихся условиях не могут ухудшить экологическую ситуацию в этом районе, и исключены из рассмотрения при проведении экспериментальных работ.

Ранее отмечалось, что в почвах региона содержатся в повышенных концентрациях ртуть, свинец, иттрий, цинк, молибден, кобальт, медь [2]. По данным авторов, на рассматриваемых модельных участках наиболее высокая концентрация в почвах, превышающая средние значения, характерна для As, Pb, Zn, Cu и Mo. Концентрация этих элементов в почвогрунтах превышает “кларковые” значения в 1.5–3 раза, при этом наблюдается значительная дисперсия содержаний по разрезу почв. В пробах, отобранных по разрезу почв во всех точках наблюдения, относительное стандартное отклонение для этих элементов составляет 20–40%. Таким образом, только эта группа химических элементов в сложившихся на этой территории физико-химических условиях может выщелачиваться из почв, интенсивно мигрировать в грунтовые воды и осложнять экологическую ситуацию в районе.

На рис. 2 представлено распределение содержания микроэлементов по разрезам почв модельных участков. Наиболее значительная дисперсия характерна для концентрации меди и мышьяка.

Для аллювиально-луговой почвы характерен значительный разброс концентрации Cu по всему разрезу: наиболее высокие содержания вблизи поверхности. В верхнем горизонте аллювиально-луговой почвы отмечается и высокое содержание Zn, что, возможно, связано с воздействием реки, в воде и переносимом потоком взвешенном веществе которой периодически отмечаются высокие техногенные концентрации этих элементов. Во время паводков река выходит из берегов и заливают низкие места поймы, где отлагаются взвеси, и где, в основном, и сформирован этот тип почв [3].

В серой лесной почве зафиксировано высокое содержание Cu на глубине 6 см. Характер ее распределения в этой почве, вероятно, связан с разложением органического вещества, миграцией в растворенном состоянии и образованием слабо-растворимых гуматов и фульватов. В нижних горизонтах, сложенных песками, содержание меди резко падает. В дерновой лесной и мелиоративно-освоенной торфяной распределение Cu однотипное – повышенные содержания вблизи поверхности и постепенное снижение концентрации с глубиной.

Наибольшая дисперсия распределения мышьяка характерна для мелиоративно-освоенной торфяной почвы: минимум его концентрации – на

Таблица 1. Среднее валовое содержание микроэлементов в почвах дельты р. Селенги, мг/кг

Почва	Fe, %	Mn*	Pb	Zn	Cu	As	Mo	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	Sn	La	Ce
Аллювиально-луговая (n = 26) ±σ	2.28	608	21.08	78.0	33.0	11.7	3.04	80.54	352.31	718.46	18.31	208.46	8.23	1.78	20.31	42.38
Дерновая лесная (n = 24) ±σ	0.29	—	0.24	0.05	0.41	0.31	0.30	0.09	0.03	0.02	0.28	0.12	0.26	0.15	0.22	0.24
Серая лесная (n = 2) ±σ	1.99	710	20.64	78.4	32.9	13.3	1.82	83.18	367.3	706.4	15.6	189.1	7.18	1.75	17.1	36.9
Мелиоративно-освоенная торфяная (n = 20) ±σ	0.24	—	0.11	0.10	0.37	0.11	0.49	0.05	0.07	0.02	0.23	0.16	0.18	0.23	0.22	0.18
Среднее по дельте (n = 92) ±σ	1.48	250	15.36	72.6	26.5	12.09	1.73	66.73	332.7	687.3	10.18	148.2	5.27	1.27	17.27	29.45
Кларк по Виноградову А.П. (1962)	0.06	—	0.10	0.04	0.21	0.24	0.15	0.05	0.05	0.02	0.15	0.08	0.12	0.36	0.14	0.06
	2.57	754	21.6	74.7	25.4	19.1	12.02	29.6	356	178	9.9	70.8	4.5	1.7	11.1	17.5
	0.13	—	0.21	0.09	0.38	0.30	0.33	0.26	0.10	0.19	0.20	0.19	0.16	0.15	0.26	0.18
	2.08	580	19.8	75.9	29.5	14.1	4.7	65.1	352.1	572.5	13.5	154.1	6.3	1.6	16.5	31.6
	3.8	850	10	50	20	5	2	60	300	500	20	300	20	10	29	70

Примечание. n – число проб, ±σ – относительное стандартное отклонение, * – по [9].

поверхности и на глубине 4 см, в этом интервале отмечено интенсивное разложение торфа. В дерновой лесной максимум содержания мышьяка зафиксирован на глубине 4–6 см, в более глубоких горизонтах его концентрация снижается. В аллювиально-луговой почве максимум As отмечен вблизи поверхности и на глубине 9 см. Можно предполагать, что торфяные и дерново-лесные почвы в сложившихся условиях могут поставлять в окружающую среду мышьяк в растворенном состоянии.

Относительно повышенные содержания железа характерны для верхних горизонтов аллювиально-луговой и серой лесной почв. Содержание свинца изменяется по разрезу всех типов почв, это указывает на то, что какая-то часть этого элемента в почвах находится в легкоподвижных формах, и он может в сложившихся условиях вовлекаться в активную миграцию в растворенном состоянии.

Известно, что легкоподвижные соединения микроэлементов аккумулируются в основном в верхнем горизонте почв, где они находятся в составе гуматов, фульватов, карбонатов, гидроксидов и адсорбированном виде на поверхности веществ с активной поверхностью [1, 6]. На участках техногенного загрязнения с ростом валового содержания микроэлементов в почвах, как правило, увеличивается их концентрация и в легкоподвижных формах. Химические элементы, находящиеся в этих формах, могут легко переходить в раствор при изменении геохимической обстановки и усваиваться растениями и животными [4]. Нитраты почти всех металлов образуют хорошо растворимые в воде соли, а аммоний – со многими тяжелыми металлами комплексные соединения, поэтому под воздействием загрязненных азотсодержащими соединениями метеорных вод следует ожидать смещения равновесия в почвенных системах в сторону растворимых в воде форм. В основном в повышенных концентрациях в почвенных водах будут присутствовать элементы, которые находятся не в составе породообразующих минералов, а в легкоподвижных формах [10].

Таким образом, на изученной территории инфильтрующийся через почвы раствор взаимодействует с достаточно разнообразными почвенными системами, которые различаются не только содержанием химических элементов и распределением их по почвенному разрезу, но и формами нахождения.

Как показали наблюдения за миграцией метеорных вод, загрязненных нитрат-ионом, по поч-

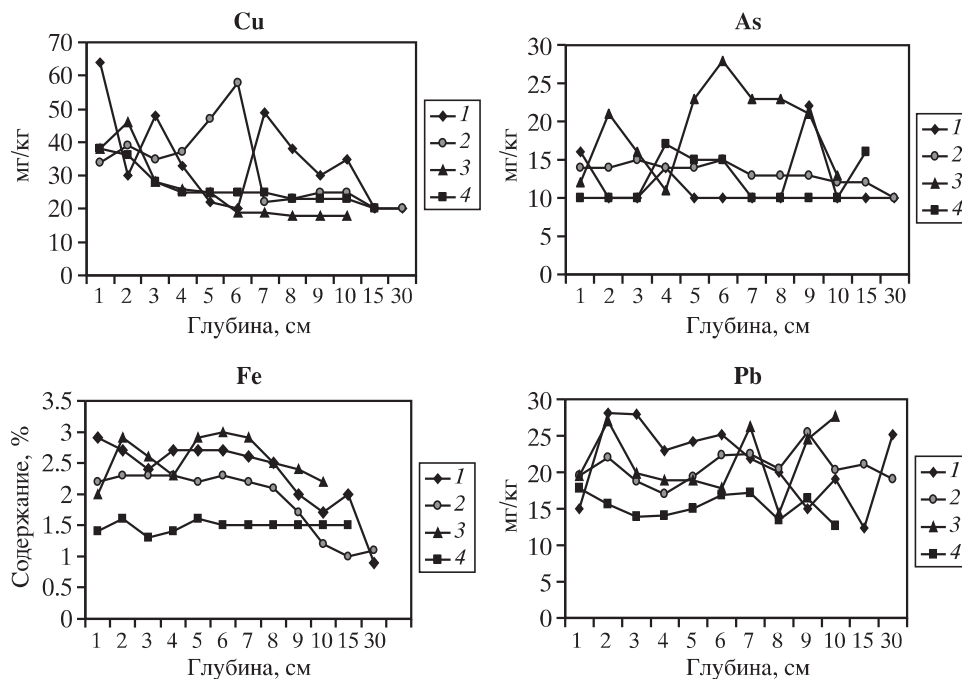


Рис. 2. Распределение содержания меди, мышьяка, железа и свинца в разрезах аллювиальной луговой (1), серой лесной (2), торфяной мелиоративно освоенной (3) и дерновой лесной (4) почвах.

венному разрезу, происходит активное извлечение этого аниона из раствора всеми типами почв. Это видно из представленных графиков на рис. 3. В пробах лизиметрических вод, отобранных из нижнего горизонта всех типов почв, его содержание меньше, чем в верхних горизонтах. Наиболее активно нитрат-ион извлекается аллювиально-луговой и серой лесной почвами. Удаление нитрата из раствора может быть связано с жизнедеятельностью микроорганизмов, проявляющейся в денитрификации – восстановлении нитратов до нитритов и далее до газообразных оксидов и молекулярного азота. Нитрат постоянно поглощается и растительностью, он – для них один из основных питательных веществ. Известно, что при недостатке NO_3^- в начальной стадии развития растений замедляется их рост. Хотя он напрямую не участвует в реакциях биосинтеза, но при нулевом уровне нитратов в поровых водах растения перестают усваивать фосфаты, что приводит к их заболеванию и гибели. Для растений благоприятна концентрация нитратов в поровых водах на уровне 5–10 мг/л. Кроме этого нитрат может адсорбироваться на веществах с активной поверхностью. На величину адсорбции нитратов оказывает большое влияние содержание свежеосажденных оксидов железа, как в почвах, так и в породах зоны аэрации [11]. Полученные данные по распределению Fe в разных типах почв подтверждают это, в частности, содержание нитрат-

иона меньше всего изменяется при инфильтрации атмосферных осадков через серые лесные почвы, где отмечаются самые низкие содержания Fe.

Экспериментальные исследования взаимодействия искусственных растворов с почвами показали, что нитрат-ион в этом случае ведет себя по-другому. В нижних горизонтах почвы в лизиметрических водах обнаруживаются более высокие его содержания, чем в верхних горизонтах. Это, на наш взгляд, может быть вызвано двумя причинами – с увеличением скорости инфильтрации растворов через почвенный горизонт и разделением воды и растворенных веществ за счет их различной смачивающей способности. Так как в экспериментах верхняя часть грунтов переувлажняется, то под действием гидростатического давления скорость инфильтрации растворов через почвенный горизонт возрастает, время взаимодействия раствора с микроорганизмами, корневой системой растений и с веществами с активной поверхностью уменьшается. В результате микрофауна, растительность не успевает перерабатывать находящийся в растворе нитрат-ион, не достигается равновесия и с адсорбентами, поэтому он в избыточном количестве просачивается в нижние горизонты. Одновременно происходит концентрирование раствора в нижних горизонтах и за счет разделения воды с растворенными веществами из-за разной скорости их перемещения в пористой среде. Это связано с тем, что часть

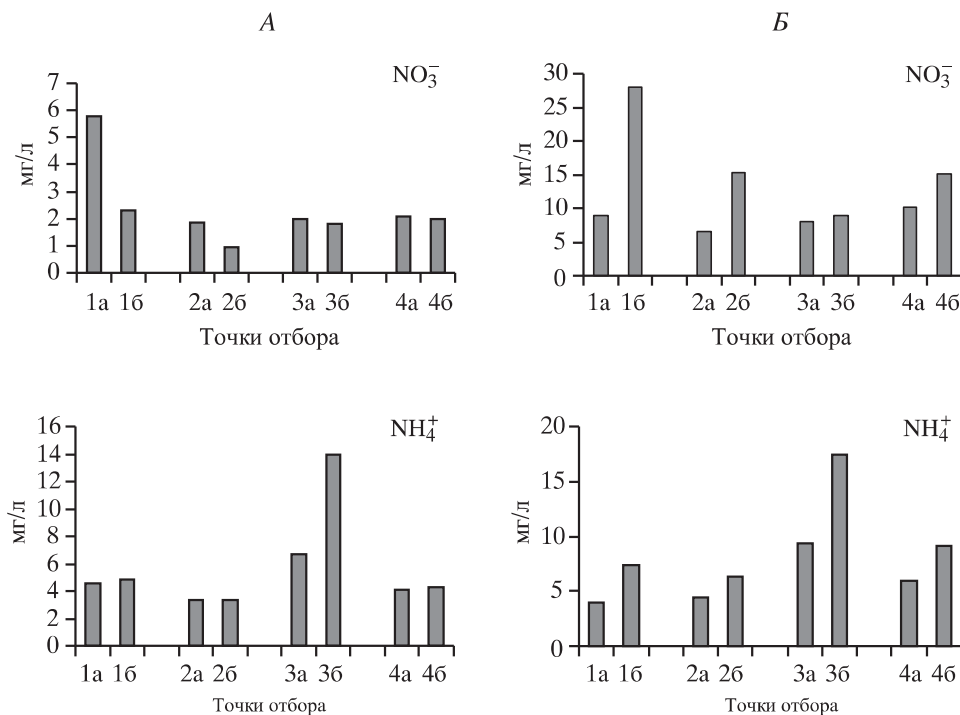


Рис. 3. Содержание нитрат-иона и иона аммония в лизиметрических водах: *А* – в природных условиях, *Б* – при распылении экспериментального раствора. Точки отбора с индексом “а” находятся на глубине 15 см, с индексом “б” – на глубине 30 см. Расположение точек наблюдения приведено на рис. 1.

воды в почвах и почвогрунтах в зоне аэрации расходуется на заполнение пор изначально занятых воздухом. Особенно интенсивно это происходит на границе раздела гумус – песок, где резко меняется проницаемость пород. В этом месте вода начинает интенсивно смачивать породы, распространяясь за счет сил поверхностного натяжения в горизонтальных направлениях, а растворенное вещество в этом перемещении в стороны участвует в меньшей мере, в основном, продолжает фильтроваться вниз и накапливается в оставшейся части раствора. Такое разделение раствора происходит за счет разной скорости перемещения молекул воды и растворенных веществ в пористых средах, что связано с более интенсивной адсорбцией последних твердой фазой. Растворитель в пористой среде всегда опережает фронт движения растворенных веществ – чем меньше поры в породах, тем дальше может удаляться растворитель от фронта растворенного вещества. Есть такие породы, которые могут пропускать через себя воду и совсем не пропускать растворенные вещества [5]. Вследствие удаления растворителя в остающемся растворе концентрация вещества увеличивается. Оба рассмотренных процесса направлены на концентрирование растворенного вещества в нижней части почвенного разреза. В силу этого эффекта в исследованных точках на-

блюдения на нижнем горизонте зафиксирована концентрация нитрат-иона, превышающая исходную. В наибольшей степени этот эффект наблюдается в аллювиальной луговой и серой лесной почвах, которые в естественных условиях интенсивно извлекают нитрат-ион из лизиметрических вод.

Иначе при взаимодействии лизиметрических вод с почвами ведет себя аммоний. В естественных условиях при инфильтрации загрязненных атмосферных осадков через почвы, его концентрация не уменьшается с глубиной, а практически остается на одном и том же уровне (см. рис. 3). То есть NH_4^+ не сорбируется и не извлекается из растворов в сколько-нибудь заметных количествах ни микроорганизмами, ни растительностью. В природных условиях при взаимодействии загрязненных атмосферных осадков с торфяниками его концентрация на нижних горизонтах становится выше, чем на верхних. По нашему мнению, это связано с тем, что в зоне аэрации мелиоративно-освоенных почв происходит интенсивное окислительное разрушение торфов. Разложение торфов происходит при низкой температуре, поэтому в качестве основного продукта разрушения азотсодержащих соединений образуется аммоний. Он добавляется к инфильтрующимся загрязненным атмосферным осадкам, и в конеч-

Таблица 2. Микроэлементы в лизиметрических водах разных типов почв, отобранных на модельных участках, мкг/л

Тип почвы	Точка наблюдения	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	As	Cd	Cr
Метеорные воды									
Аллювиально-луговая	1а	82.15	9.06	20.15	119.66	8.92	8.37	0.68	1.54
	1б	154.5	7.65	12.24	80.05	10.12	1.52	0.54	2.34
Серая лесная	2а	188.40	4.09	30.45	462.76	7.11	18.54	0.76	1.05
	2б	215.68	10.99	40.68	2146.80	6.23	26.67	0.98	0.65
Мелиоративно-освоенная торфяная	3а	59.99	14.36	22.30	259.81	5.13	8.69	0.68	0.48
	3б	123.69	10.59	22.07	255.49	7.51	16.02	0.53	0.97
Среднее содержание		137.36	9.49	24.64	554.09	7.5	11.63	0.69	1.17
Экспериментальный раствор									
Аллювиально-луговая	1а	29.54	6.23	11.85	90.88	8.31	6.46	0.76	1.06
	1б	564.67	8.66	15.84	20.43	14.01	0.16	0.77	2.26
Серая лесная	2а	189.49	84.77	44.06	1015.48	11.12	30.24	1.21	1.37
	2б	210.54	56.78	45.25	1325.60	10.45	28.02	1.15	0.55
Мелиоративно-освоенная торфяная	3а	56.25	5.87	14.68	95.88	3.45	5.23	0.54	0.45
	3б	27.67	1.68	15.99	89.38	2.74	8.69	0.45	0.56
Дерновая лесная	4а	251.21	3.80	19.40	31.54	17.09	4.07	0.84	0.90
	4б	594.02	8.93	13.18	22.65	7.61	5.89	0.85	0.99
Среднее содержание		179.61		24.61	439.6	8.35	13.13	0.81	1.04

ном итоге суммированное высокое содержание аммония свободно достигает уровня грунтовых вод. Добавка аммония за счет разложения торфов при инфильтрации атмосферных осадков через 30-сантиметровый слой сопоставима с поступающими загрязнениями из атмосферы. В экспериментах с искусственными растворами на этой почве получено 4-кратное превышение исходной концентрации аммония. Несомненно, что в этом случае произошло суммирование аммония за счет описанного выше адсорбционного эффекта и выщелачивания из разложившегося органического вещества торфяников. Учитывая, что мощность осушенных торфов в районе может достигать 2 м и более, можно предполагать значительный вклад этого процесса в загрязнение грунтовых вод.

Наблюдения за миграцией атмосферных осадков через почвы и экспериментальные исследования показали, что рассмотренные аллювиальные луговые, серые лесные и дерновые лесные почвы обладают низкими сорбционными свойствами и не могут служить надежной защитой для залегающих под ними грунтовых вод. Осушенные торфяные почвы могут быть источником загрязнения почвенных и грунтовых вод азотсодержащими соединениями.

Анализ микроэлементного состава природных и экспериментальных почвенных вод показывает,

что их содержание на всех модельных участках достаточно высокое, но может различаться на порядки в зависимости от типа почв. Концентрация микроэлементов в почвенных водах, отобранных в естественных условиях, сопоставима с их содержанием в экспериментальных растворах (табл. 2). Содержания большинства микроэлементов в почвенных водах, как в природных условиях, так и в эксперименте растут по мере инфильтрации растворов через почвы (рис. 4).

Концентрации меди, свинца кадмия, хрома в почвенных водах не высокие, по мере просачивания вод в глубокие горизонты не наблюдаются их резкие колебания. Содержания этих элементов, установленные в лизиметрических водах всех типов обследованных почв, сопоставимы между собой. Максимальная концентрация Си в природных лизиметрических водах установлена в пробах, отобранных в аллювиальной луговой почве, в которой зафиксированы повышенные содержания и значительная дисперсия по разрезу этого химического элемента. Максимальные концентрации Zn, Fe, Pb, As, Cd обнаружены в лизиметрических водах серой лесной почвы, хотя в ней самой сколько-нибудь значительных содержаний этих элементов не обнаружено. Содержание Zn в лизиметрических водах этой почвы превышает концентрацию в других почвах в несколько десятков раз. Возможно, на интенсивность выщела-

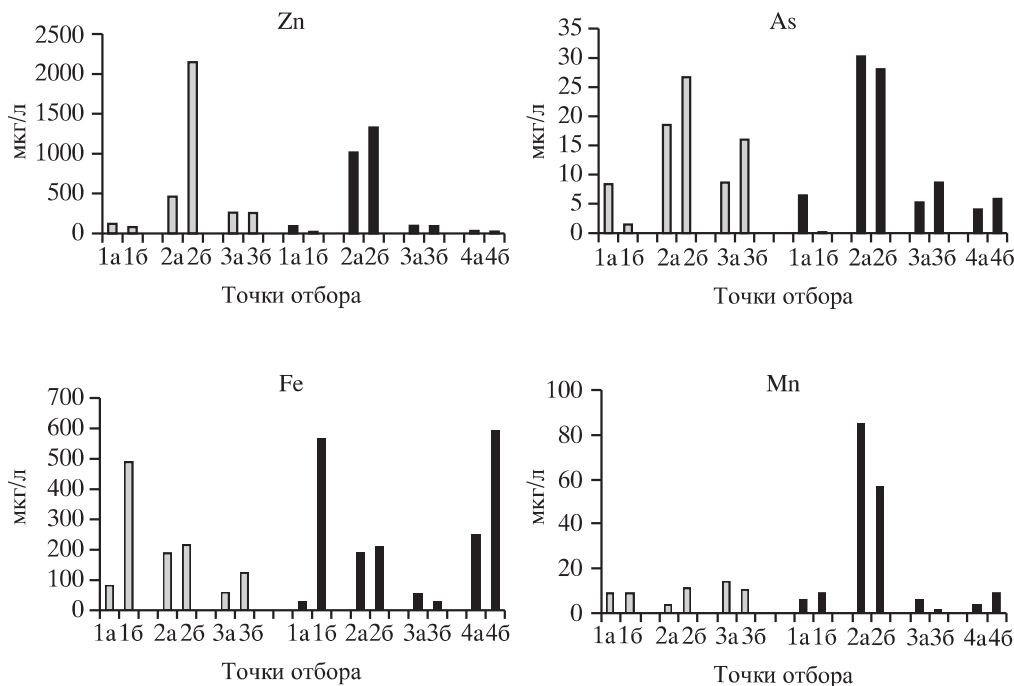


Рис. 4. Содержание микроэлементов в лизиметрических водах. Точки отбора с индексом “а” находятся на глубине 15 см, с индексом “б” – на глубине 30 см. Расположение точек наблюдения приведено на рис. 1. Примечание: столбцы серого цвета при инфильтрации метеорных вод, темного – экспериментального раствора.

чивания этих элементов почвенными водами влияет процесс разложения листвы произрастающих деревьев. Из серой лесной почвы искусственные растворы нитрата аммония вымывают в повышенных количествах Mn, Pb, Cu, As, Cd, Cr.

В естественных лизиметрических водах торфяной почвы обнаружены относительно повышенные содержания марганца и мышьяка, что соответствует их количеству в самой почве и коррелирует со значительной изменчивостью концентрации по разрезу. Из дерновой лесной почвы искусственными растворами вымываются железо и медь.

Полученные результаты позволяют заключить, что выщелачивающее воздействие азотсодержащих природных растворов оказывает избирательное воздействие на разные типы почв. Наиболее высокие концентрации микроэлементов установлены в почвенных водах в пределах распространения почв с повышенными содержаниями легкоподвижных форм. Максимальное увеличение выщелачивания под воздействием нитратных растворов из почв характерно для цинка, железа, свинца, мышьяка, марганца, меди. Эти химические элементы вместе с инфильтрующимися через зону аэрации метеорными водами могут проникать до уровня грунтовых вод и формировать ореолы загрязнения в пределах распространения серой лесной, торфяной и дерновой лесной почв.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При инфильтрации метеорных вод, загрязненных азотсодержащими соединениями, через почвы происходит трансформация их химического состава. Нитрат-ион в вегетационный период интенсивно извлекается из растворов. Аммоний проходит через почвенный горизонт практически без потерь. Экспериментальное исследование инфильтрации через почвы искусственных растворов позволяет заключить, что при инфильтрации растворов аммония через все исследованные типы почв, этот ион не удаляется из раствора ни биотой, ни сорбционными процессами, напротив, его концентрация увеличивается с глубиной. Торф, осушенный в результате проведенных мелиоративных работ, может быть дополнительным источником загрязнения грунтовых вод аммонием. Рассмотренные аллювиальные луговые, серые лесные и дерновые лесные почвы так же, как и торф обладают низкими сорбционными свойствами по отношению к аммонии и не могут служить надежной защитой для залегающих под ними грунтовых вод.

Выщелачивающее воздействие азотсодержащих природных растворов на разные типы почв избирательное. Наиболее высокие концентрации микроэлементов установлены в почвенных водах в пределах распространения почв с наиболее вы-

сокими содержаниями легкоподвижных форм – в пределах серых лесных почв. Максимальное увеличение выщелачивания под воздействием нитратных растворов из почв характерно для цинка, железа, свинца, мышьяка, марганца, меди.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоголова Г.А., Арсентьева А.Г., Мамитко В.Р. Формы нахождения элементов в зонах техногенного загрязнения // Докл. РАН. 1994. Т. 337. № 5. С. 650–654.
2. Гребенщикова В.И., Лустенберг Э.Е., Китаев Н.А., Ломоносов И.С. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон) / Под ред. М.И. Кузьмина. Новосибирск: Академ. изд-во “Гео”, 2008. 234 с.
3. Дельта реки Селенги – естественный биофильтр и индикатор состояния озера Байкал / Отв. ред. А.К. Тулохонов, А.М. Плюснин. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 314 с.
4. Зайдельман Ф.Р. Влияние дренажа и глубокого рыхления почв на состав стока и грунтовых вод // Мелиорация и водное хозяйство. 1996. №3. С. 35–37.
5. Основы гидрогеологии. Т. 3. Гидрогеохимия. Новосибирск: Наука, 1982. 238 с.
6. Перязева Е.Г., Плюснин А.М. Взаимодействие атмосферных осадков с почвогрунтами урбанизированных территорий Байкальского региона. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2007. 126 с.
7. Плюснин А.М., Кислицина Л.Б., Жамбалова Д.И., Перязева Е.Г., Удодов Ю.Н. Особенности формирования химического состава грунтовых вод в дельте реки Селенга // Геохимия. 2008. № 3. С. 243–252.
8. Почвенные ресурсы Забайкалья / В.М. Корсунов (ред.). Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1989. 182 с.
9. Протасова Н.А., Щербakov А.П. Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ni, Zr, Ca, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2003. 368 с.
10. Снакин В.В., Присяжная О.В., Рухович О.В. Состав жидкой фазы почв. М.: РЭФИА, 1997. 325 с.
11. Сосорова С.Б., Кашин В.К. Тяжелые металлы в почвах и растениях дельты реки Селенги. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2009. 162 с.
2. Grebenshchikova, V.I., Lustenberg, E.E., Kitaev, N.A., Lomonosov, I.S. *Geokhimiya okruzhayushchey sredy Pribaykal'ya (Baykalskiy geoekologicheskiy poligon)* [Environmental geochemistry of Pribaikalia (Baikal geoeological test plot)]. Kuzmin M.I., Ed., Novosibirsk, Geo Academic Publ. 2008. 234 p. (in Russian).
3. *Delta reki Selengi – estestvennyi biofiltr i indikator sostoyaniya ozera Baikal* [The Selenga River delta as a natural biofilter and indicator of Lake Baikal condition]. Tulokhonov, A.K., Plyusnin, A.M., Eds. Novosibirsk, SO RAN Publ. 2008. 314 p. (in Russian).
4. Zaidelman, F.R. *Vliyanie drenazha i glubokogo rykhleniya pochv na sostav stoka i gruntovykh vod* [The impact of drainage and deep loosening of soil on the composition of run-off and groundwater]. *Melioratsia i vodnoe khozyaistvo*, 1996, no. 3, pp. 35–37 (in Russian).
5. *Osnovy gidrogeologii. T. 3: Gidrogeokhimiya* [Fundamentals of hydrogeology, vol. 3: Hydrogeochemistry]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1982, 238 p. (in Russian).
6. Peryazeva, E.G., Plyusnin, A.M. *Vzaimodeystvie atmosferykh osadkov s pochvogruntami urbanizirovannykh territoriy Baikal'skogo regiona* [The interaction of atmospheric precipitation with the soils in urbanized areas of the Baikal region]. Ulan-Ude, SO RAN Publ., 2007, 126 p. (in Russian).
7. Plyusnin, A.M., Kislitsina, L.B., Zhambalova, D.I., Peryazeva, E.G., Udodov, Yu.N. *Osobennosti formirovaniya khimicheskogo sostava gruntovykh vod v del'te reki Selenga* [Formation peculiarities of the groundwater chemical composition in the Selenga river estuary]. *Geokhimiya*, 2008, no. 3, pp. 243–252 (In Russian).
8. *Pochvennye resursy Zabaikaliya* [Transbaikalia soil resources]. Korsunov, V.M., Ed. *Sbornik nauchn. tr. (Proc. Sci. Papers)*, Novosibirsk, Nauka SO RAN, 1989. 182 p. (in Russian).
9. Protasova, N.A., Shcherbakov, A.P. *Microelementi (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ni, Zr, Ca, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) v chernozemakh i serykh lesnykh pochvakh Tsentral'nogo Chernozem'ya* [Trace elements (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ni, Zr, Ca, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) in chernozems and gray forest soils of the Central Chernozem Region], Voronezh, Voronezhskii Gos. Univ., 2003. 368 p. (in Russian).
10. Snakin, V.V., Prisyazhnaya, O.V., Rukhovich, O.V. *Sostav zhidkoi fazi pochv* [The composition of soil liquid phase]. Moscow, REFIA. 1997. 325 p. (in Russian).
11. Sosorova, S.B., Kashin, B.K. *Tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh del'ty reki Selengi* [Heavy metals in soils and plants of the Selenga River estuary]. Ulan-Ude, SO RAN Publ., 2009, 162 p. (in Russian).

REFERENCES

1. Belogolova, G.A., Arsent'yeva, A.G., Mamitko, V.R. *Formy nakhozhdeniya elementov v zonakh tekhnogennogo zagryazneniya* [Forms of element occurrence in the areas of technogenic pollution]. *Dokl. RAN*, 1994, vol. 337, no. 5, pp. 650–654 (in Russian).

INTERACTION OF CONTAMINATED METEORIC WATER WITH SOILS IN UST-SELENGA DEPRESSION

A. M. Plyusnin, D. I. Zhambalova

*Geological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, ul. Sakh'yantovoi 6a,
Ulan-Ude, 670047 Russia.*

E-mail: plyusnin@gin.bscnet.ru; dachima@mail.ru

The article deals with the experimental study of interaction between atmospheric precipitation and artificial solutions, containing nitrate and ammonium, and the soils during their infiltration through the different types of soils with the usage of lysimeters. The work was triggered by the fact that nitrogen-containing compounds transported by northwestern winds from the chemical plant area pollute atmospheric precipitation on the east coast of Lake Baikal. The purpose of the work is to identify the consistent pattern of contamination migration in the aeration zone and its influence on groundwater. The main problem involves the study of trace-element composition in soils and investigation of the alteration in the content of nitrate, ammonium and toxic trace elements during the infiltration of water through various types of soils. The work shows the results of the studies on interaction between the water and four types of soils, which are the most widespread within the Ust'-Selenga River basin. We have found experimentally that during the infiltration of atmospheric precipitation and artificial nitrogen-containing solutions through the soils, their chemical composition is transformed. Unlike the ammonium, the nitrate ion is extracted from solutions by the biota in the vegetation period, and its concentration decreases with the depth, while the content of ammonium ion increases. We have considered the pollution concentration in the lower parts of the soil profile, which is associated with the solution infiltration rate through the soil horizon and water separation from the dissolved substances due to their different wettability. Infiltration rate increase in the experiments, related to the growth of hydrostatic pressure of the liquid column, has an indirect effect, as it reduces the interaction time between the solution and the microorganisms, the plant root system and the surface active agents. The surface tension influences directly the concentration of the dissolved matter at the deeper soil profile. It transports the solvent laterally, and the dissolved material in this case continues to infiltrate downwards and accumulates in the remaining part of the solution. It is shown that ammonium and nitrate containing solutions leach zinc, iron, manganese, arsenic, copper and lead from the soils, the highest concentrations of that are found in the lysimetric water of gray forest and drained peat bog soils.

Keywords: *Lake Baikal, Ust-Selenga depression, chemical composition, trace elements, soils, surface and ground water, atmospheric and lysimeter water.*