

УДК 631.416.9

А. В. МАРТЫНОВ

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск

**СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВАХ  
ПОЙМ КРУПНЫХ РЕК ЗЕЙСКО-СЕЛЕМДЖИНСКОЙ РАВНИНЫ**

Приведены результаты исследования содержания микроэлементов в различных типах аллювиальных почв пойм рек Зеи и Селемджи Амурской области. Изучены наиболее распространенные типы почв: аллювиальные серогумусовые, аллювиальные серогумусовые глеевые и аллювиальные торфяно-глеевые, а также буроземы остаточного аллювиального происхождения как промежуточный тип между зональными и интразональными почвами. В образцах, отобранных по генетическим горизонтам, рентгенофлуоресцентным методом определены физико-химические и химические свойства, а также содержание микроэлементов. С помощью факторного анализа (метод главных компонент) выявлено влияние гранулометрического состава, обменной кислотности, органического вещества и насыщенных оснований на аккумулятивно-миграционные свойства микроэлементов. Установлено, что гранулометрический состав и органическое вещество воздействуют на аккумуляцию As, Pb, F, Cu, Co, V. Миграция Cr, Ge, Ga, Se, Ni, Mo, Zr, Sr, Ba, Y, Cs, Rb, Hg, Nb обусловлена реакцией среды почвенного раствора и окислительно-восстановительным потенциалом. Микроэлементы Zn, Sc, Sn, Sb проявляют комплексную зависимость от почвенных свойств. При использовании данных о среднем содержании микроэлементов в почвах мира рассчитаны геохимические индексы почвенного покрова пойм Зеи и Селемджи. Расчеты показали, что в исследуемых аллювиальных почвах ассоциацию рассеивания формируют F и Cs, а ассоциацию накопления — Co, Mo, Ge, Ni, Hg, Se. Выявлена прямая зависимость повышения содержания в почвах микроэлементов, миграционная активность которых зависит от реакции почвенного раствора и окислительно-восстановительных процессов, от регулирующей деятельности Зейской ГЭС.

Ключевые слова: геохимический индекс, регулирование речного стока, факторный анализ, р. Зея, р. Селемджа, микроэлементы.

*Presented are the results derived from investigating the content levels of trace elements in different types of alluvial soils in the floodplains of the Zeya and Selemdzha in Amurskaya oblast. A study is made of the most widespread types of soils: alluvial grey humus, alluvial grey humus gley and alluvial peaty gley soils as well as residual alluvial burozems as the intermediate type between zonal and intrazonal soils. The X-ray fluorescence method was used to determine the physicochemical and chemical properties as well as trace elements in samples collected from genetic horizons. Factor analysis (principal component analysis) was employed to reveal the influence of the particle-size composition, exchange acidity, organic matter and saturated bases on the accumulation-migration properties of trace elements. It is found that particle-size composition and organic matter have influence on accumulation of As, Pb, F, Cu, Co and V. Migration of Cr, Ge, Ga, Se, Ni, Mo, Zr, Sr, Ba, Y, Cs, Rb, Hg and Nb is caused by the reaction of the medium of soil solution and the redox potential. The trace elements Zn, Sc, Sn and Sb show an integral dependence on soil properties. Geochemical indices of soil cover in the floodplains of the Zeya and Selemdzha rivers were calculated by using data on mean contents of trace elements in the soils of the world. These calculations showed that in the alluvial soils used in the study the dispersion association is formed by F and Cs, and that the accumulation association is produced by Co, Mo, Ge, Ni, Hg and Se. A direct correlation was revealed between an increase in content of those trace elements in soils, the migration activity of which depends on the reaction of soil solution and redox processes, and the regulation activity of the Zeya Hydroelectric Station.*

Keywords: geochemical index, river regulation, factor analysis, Zeya river, Selemdzha river, trace elements.

**ВВЕДЕНИЕ**

Один из важнейших показателей экологического состояния почвенного покрова любой территории — содержание и профильное распределение микроэлементов, обусловленные многими природными и антропогенными факторами, в том числе свойствами самих почв: гранулометрическим составом, реакцией среды почвенного раствора, содержанием органического вещества, емкостью катионного обмена [1–5]. По сравнению с водоразделами в поймах рек процесс миграции и перераспределения микроэлементов по профилю почв протекает более интенсивно, так как поймы представляют собой наиболее молодые и динамичные ландшафты суши [6]. Большое влияние на накопление и миграцию микроэлементов в аллювиальных почвах оказывают грунтовые и склоновые воды, способствующие переносу микроэлементов с водоразделов в поймы. Одновременно при фильтрации паводковых вод происходит вынос ряда элементов из одних горизонтов в другие или за пределы поч-

венного профиля. Это создает значительную сложность и пестроту распределения микроэлементов в аллювиальных почвах.

Несмотря на высокую значимость данных о микроэлементном составе почв в оценке экологического состояния пойменных ландшафтов, в Амурской области аллювиальные почвы остаются слабо изученными. Фактически единственными источниками сведений о содержании различных микроэлементов в этих почвах на территории региона служат работы О. А. Сорокиной [7–9].

### ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Согласно схеме гидрологического районирования бассейна Верхнего Амура, исследуемая территория расположена в пределах Зейско-Селемджинской равнины, которая занимает центральную и северную части Амурско-Зейской равнины — крупнейшей межгорной депрессии в России [10].

Исследование выполнялось на двух ключевых участках, находящихся в среднем течении р. Зей (387–397 км судового хода) и нижнем течении р. Селемджи (98–108 км судового хода) (рис. 1). Ключевые участки, несмотря на принадлежность к разным водотокам, расположены в одной ландшафтной зоне, что подразумевает схожесть процессов почвообразования, растительного покрова, климатических и геологических особенностей. Для изучения почвенного покрова на всех элементах микрорельефа, вдоль генеральных профилей, были заложены почвенные разрезы, описан их морфологический облик и по генетическим горизонтам, включая почвообразующую породу (аллювий пойменной или русловой фации), отобраны образцы. Всего заложено 26 почвенных разрезов, из которых отобрано 127 образцов.

Поскольку исследуемые территории не затронуты видами антропогенного воздействия, способными напрямую изменять элементный состав почв, то полученные данные позволяют оценить природное фоновое содержание микроэлементов, для чего был рассчитан их кларк концентрации.

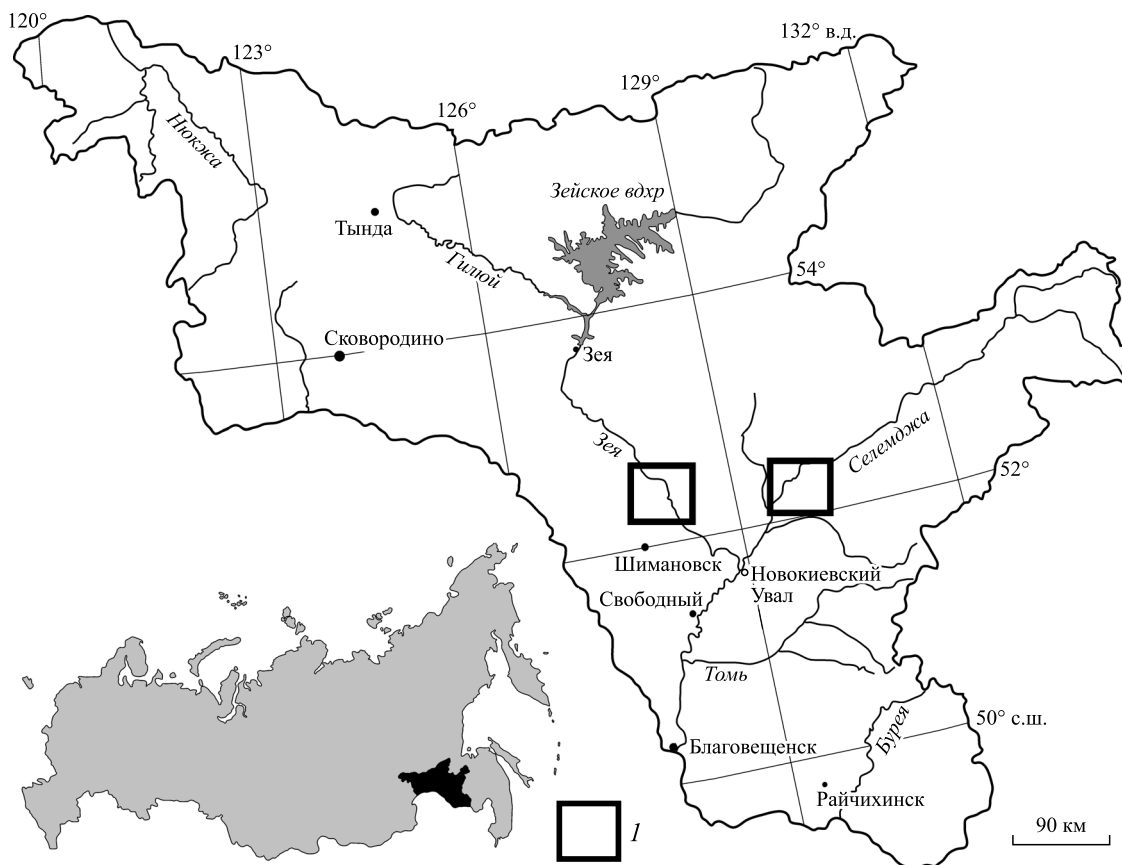


Рис. 1. Расположение ключевых участков на картосхеме Амурской области.

1 — ключевые участки исследования.

Микроэлементы (F, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Cs, Ba, Hg, Pb, Sb) определялись в семи почвенных разрезах (35 образцах), обладающих наиболее типичным строением для того или иного почвенного типа. Анализ осуществлялся рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 Simadzu в аналитическом центре Института геологии и природопользования ДВО РАН. Определение свойств почв проводилось общепринятыми в почвоведении методами: гранулометрический состав — методом пипетки по Н. А. Качинскому с пирофосфатом натрия; актуальная и потенциальная кислотности — потенциометрически; обменная кислотность и подвижный алюминий — методом А. В. Соколова; обменный кальций и магний — комплексонометрическим методом по К. К. Гедройцу; органический углерод — методом мокрого озонения по И. В. Тюрину в модификации Б. А. Никитина [11, 12]. Статистические расчеты выполнены с помощью программы Statistica v6.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Комплексный анализ морфологических признаков аллювиальных почв, включающий строение почвенного профиля, окраску горизонтов, структуру агрегатов, плотность, степень и характер гидроморфизма, наличие включений и новообразований и др., позволяет выделить в пределах ключевых участков типы почв в соответствии с Классификацией и диагностикой почв России от 2004 г. [13].

Пойма р. Зеи характеризуется четырьмя почвенными типами: аллювиальная слоистая почва (отдел слабообразованных почв); аллювиальная серогумусовая и аллювиальная торфяно-глеевая (отдел аллювиальных почв); бурозем остаточного-аллювиальный (отдел структурно-метаморфических почв). В пределах типа «аллювиальная серогумусовая почва» выделяется подтип «аллювиальная серогумусовая глееватая почва». В пойме р. Селемджи также выявлены четыре почвенных типа: аллювиальная слоистая почва (отдел слабообразованных почв), аллювиальная серогумусовая, аллювиальная серогумусовая глеевая, аллювиальная торфяно-глеевая (отдел аллювиальных почв).

Аллювиальные торфяно-глеевые почвы распространены в притеррасных понижениях, у подножия бортов долин в местах выхода грунтовых вод или в районе старичных озер. Они формируются на средне- и тяжелосуглинистом аллювии под закоряченной осоково-разнотравной растительностью и характеризуются тяжелосуглинистым и легкосуглинистым гранулометрическим составом, сильнокислой и кислой реакцией почвенного раствора (рН 4–5), высокой емкостью катионного обмена (ЕКО) (от 15 до 50 мг-экв/100 г почвы) с преобладанием в ее составе обменных алюминия и магния. Содержание органического углерода варьирует от 1,5 до 5 %.

Аллювиальные серогумусовые глеевые почвы формируются в пределах склонов, прилегающих к днищу притеррасного понижения, вдоль старичных озер и в глубоких межгрядных понижениях, на супесчаном и легкосуглинистом аллювии, под лугово-болотной растительностью. Для них типичны суглинистый гранулометрический состав, кислая реакция среды (рН 4,5–5), ЕКО от 15 до 30 мг-экв/100 г почвы с преобладанием в ее составе обменных алюминия и кальция, а также до 7 % органического углерода.

Аллювиальные серогумусовые почвы развиваются на супесчаном и среднесуглинистом аллювии на повышенных, хорошо дренируемых, кратковременно затопляемых участках поймы под луговой разнотравной растительностью. Гранулометрический состав этих почв преимущественно супесчаный, реакция почвенного раствора кислая и слабокислая (рН 4,5–5,5), значения ЕКО варьируют от 10 до 25 мг-экв/100 г почвы с преобладанием в ее составе обменных кальция и магния. Содержание органического углерода изменяется в гумусово-аккумулятивных горизонтах от 1 до 5 %, в минеральных — от 0,5 до 3 %.

Аллювиальные серогумусовые глееватые почвы ограничены в своем распространении и формируются только в пределах склонов, прилегающих к днищу притеррасного понижения, на супесчаном и легкосуглинистом аллювии. Растительный покров почти аналогичен тому, под которым образуется аллювиальная серогумусовая почва, за исключением небольшого увеличения осок. Свойства серогумусовых глееватых почв схожи со свойствами серогумусовых почв, отмечается только некоторое увеличение значения ЕКО с повышением в ее составе обменного алюминия и более высокое содержание органического углерода (до 8 %).

Буроземы остаточного-аллювиальные образуются на повышенных гипсометрических уровнях в тыловых частях пойменных массивов р. Зеи и на высоких гривах на супесчаном и легкосуглинистом аллювии, под широколиственными и смешанными лесами с лесным разнотравьем. Гранулометрический состав этого типа почв супесчаный и среднесуглинистый, реакция почвенного раствора кислая

и слабокислая (рН 4–5,5), ЕКО от 10 до 40 мг-экв/100 г почвы с преобладанием в составе обменных кальция и магния, органический углерод убывает вниз по почвенному профилю в среднем с 10 до 0,5 %.

Аллювиальные слоистые почвы из-за их примитивного строения, подразумевающего слабое влияние процессов почвообразования, не исследовались.

В целом аллювиальные почвы пойм Зеи и Селемджи развиваются по одной эволюционной модели и характеризуются схожими физическими, физико-химическими и химическими свойствами. Однако регулирование речного стока после строительства Зейской ГЭС обусловило снижение частоты и длительности затопления пойм паводковыми водами и ослабление интенсивности гидроморфного режима аллювиальных почв [14, 15]. Это привело к снижению кислотности в аллювиальных почвах, повышению в составе ЕКО обменного кальция, увеличению содержания органического углерода и ослаблению признаков глеевого процесса [16].

Для оценки фонового содержания микроэлементов в исследуемых аллювиальных почвах, полученные в ходе аналитических исследований данные (см. таблицу) были сопоставлены с имеющимися литературными источниками о среднем содержании микроэлементов в почвах мира [17]. Для сравнения использовалось значение среднего содержания микроэлементов по почвенному профилю с учетом не только почвообразующей породы, но и подстилающего горизонта. Это связано с тем, что строение аллювиальных почв имеет упрощенный характер (гумусово-аккумулятивный горизонт преимущественно залегает непосредственно на почвообразующей породе). Свойства почв, в том числе содержание микроэлементов, нередко зависят не от почвообразующих процессов, а от динамики поемных и аллювиальных процессов и интенсивности колебания грунтовых вод, т. е. распределение микроэлементов по почвенному профилю, за исключением биофильных, имеет унаследованный характер. К тому же аллювиальным почвам свойственно регулярное обновление почвенного профиля во время паводков, наличие погребенных горизонтов и значительное несоответствие генетических горизонтов по мощности и свойствам даже в пределах одного почвенного типа, что значительно затрудняет сравнение данных по горизонтам.

Результаты сравнения отражены в геохимических индексах, наглядно отображающих природный геохимический фон пойменных территорий Зейско-Селемджинской равнины: р. Селемджа (1) и р. Зея (2):

$$\text{As}_{1,1}; \text{Sb}_{1,1}; \text{Ba}_{1,1}; \text{V}_{1,0}; \text{Cr}_{1,0}; \text{Rb}_{1,0}; \text{Zr}_{1,0} \frac{\text{Zn}_{1,3}; \text{Y}_{1,3}; \text{Co}_{1,7}; \text{Mo}_{1,7}; \text{Ge}_{1,8}; \text{Ni}_{1,9}; \text{Hg}_{1,9}; \text{Se}_{3,1}}{\text{Cu}_{0,8}; \text{Sr}_{0,8}; \text{Ga}_{0,7}; \text{Pb}_{0,7}; \text{Cs}_{0,7}; \text{Nb}_{0,6}; \text{Sn}_{0,6}; \text{F}_{0,4}; \text{Sc}_{0,2}}; \quad (1)$$

$$\text{Cu}_{1,1}; \text{Ga}_{1,1}; \text{Sn}_{1,1}; \text{Cs}_{1,0}; \text{As}_{0,9} \frac{\text{Rb}_{1,2}; \text{Sb}_{1,3}; \text{V}_{1,5}; \text{Cr}_{1,6}; \text{Y}_{1,6}; \text{Zr}_{1,7}; \text{Hg}_{1,8}; \text{Zn}_{2,0}; \text{Ba}_{2,4}; \text{Mo}_{2,5}; \text{Ge}_{2,7}; \text{Co}_{2,7}; \text{Ni}_{2,9}; \text{Sr}_{4,4}; \text{Se}_{4,8}}{\text{Nb}_{0,6}; \text{Pb}_{0,6}; \text{F}_{0,5}; \text{Sc}_{0,4}}. \quad (2)$$

В знаменателе формул (1) и (2) расположены элементы, имеющие по всем анализируемым почвенным типам среднюю концентрацию выше кларка, в числителе — ниже кларка, слева от дроби указаны элементы с околочларковыми значениями [18].

Геохимические индексы показывают, что в аллювиальных почвах поймы Зеи содержание большинства микроэлементов выше, чем в аналогичных почвах поймы Селемджи. Учитывая схожесть геологических формирований, в пределах которых развиваются реки, можно предположить, что подобное явление обусловлено регулированием речного стока. Осушение пойменных массивов привело к снижению миграционной активности ряда микроэлементов с последующей их аккумуляцией в пределах почвенного профиля на различных геохимических барьерах.

В целом, основываясь на работе И. С. Михайлова с соавторами [19], в аллювиальных почвах пойм Зеи и Селемджи можно выделить две основные ассоциации микроэлементов: накопления — >1,5 (Co, Mo, Ge, Ni, Hg, Se) и рассеивания — <0,5 (F, Sc).

Содержание остальных элементов в аллювиальных почвах варьирует в зависимости от свойств почв и условий почвообразования, поэтому отнести их к той или иной ассоциации затруднительно.

Определение влияния свойств почв на распределение микроэлементов в почвенном профиле выполнялось с помощью статистического метода, относящегося к факторному анализу, — метода главных компонент [20]. Использование этого метода позволяет найти такие комплексные факторы, которые как можно более полно объясняют наблюдаемые связи между исследуемыми переменными. В нашем случае к этим переменным относятся: микроэлементы; обменная кислотность, представляющая собой сумму катионов водорода и алюминия; гранулометрический состав, выражаемый в виде физической глины (суммы частиц меньше 0,01 мм); углерод органического вещества; сумма катионов

## Среднее содержание микроэлементов (мг/кг) по почвенному профилю в аллювиальных почвах пойм Зеи и Селемджи

Микроэлемент	Тип почвы			
	аллювиальная серогумусовая глеевая	аллювиальная серогумусовая	аллювиальная торфяно-глеевая	бурозем остаточно-аллювиальный
	<i>Селемджа</i>			
F	127 ± 16/13	117 ± 32/28	125 ± 29/23	—
Sc	2,4 ± 2/85	0,9 ± 1/100	1,6 ± 0,7/46	—
V	94 ± 5/6	91 ± 7/8	89 ± 3/3	—
Cr	59 ± 10/18	80 ± 26/33	64 ± 11/17	—
Co	14,6 ± 3/22	14,4 ± 1/10	13,7 ± 1/10	—
Ni	38 ± 6/16	39 ± 2/4	35 ± 2/5	—
Cu	28 ± 6/23	28 ± 5/16	25 ± 2/9	—
Zn	97 ± 33/34	101 ± 30/30	86 ± 6/7	—
Ga	19,2 ± 2/11	19,4 ± 0,5/2	17,7 ± 1/7	—
Ge	1,8 ± 0,2/9	1,9 ± 0,2/13	1,7 ± 0,2/10	—
As	9,2 ± 3/33	7,5 ± 3/36	8,3 ± 2/32	—
Se	1,1 ± 0,2/23	1,4 ± 0,1/8	1,2 ± 0,1/10	—
Rb	103 ± 17/16	114 ± 10/9	94 ± 5/6	—
Sr	231 ± 38/16	261 ± 48/18	210 ± 17/8	—
Y	33,0 ± 5/17	34,0 ± 2/5	30,5 ± 2/6	—
Zr	221 ± 17/7	223 ± 17/7	235 ± 16/7	—
Nb	15,6 ± 2/13	16,4 ± 1/7	14,7 ± 0,5/3	—
Mo	3,3 ± 0,5/16	3,52 ± 0,3/10	3,1 ± 0,2/5	—
Sn	2,9 ± 1/59	4,1 ± 1/37	2,5 ± 1/42	—
Sb	1,1 ± 0,05/4	1,2 ± 0,1/11	1,1 ± 0,05/5	—
Cs	7,6 ± 2/23	9,8 ± 0,8/8	8,7 ± 1/11	—
Ba	638 ± 88/13	655 ± 85/13	590 ± 12/2	—
	<i>Зея</i>			
Hg	0,08 ± 0,02/31	0,07 ± 0,01/17	0,08 ± 0,03/38	0,06 ± 0,01/17
Pb	25,1 ± 8/33	19,5 ± 7/36	21,8 ± 6/31	16,1 ± 5/34
F	118 ± 18/15	91 ± 28/31	186 ± 62/33	103 ± 19/19
Sc	3,8 ± 1/27	3,5 ± 2/53	3,4 ± 0,6/20	2,6 ± 3/100
V	112 ± 6/5	97 ± 7/7	111 ± 5/4	96 ± 14/15
Cr	75 ± 10/13	86 ± 16/18	64 ± 4/6	94 ± 23/24
Co	18,2 ± 1/6	15,8 ± 1/8	18,1 ± 1/7	15,6 ± 3/17
Ni	44 ± 1/4	44 ± 2/4	41 ± 1/4	47 ± 7/15
Cu	27 ± 3/11	25 ± 5/20	33 ± 5/14	28 ± 6/23
Zn	101 ± 8/9	106 ± 33/31	85 ± 7/8	127 ± 56/44
Ga	22,0 ± 1/5	23,4 ± 2/7	20,2 ± 0,5/2	22,6 ± 2/9
Ge	1,9 ± 0,1/17	2,2 ± 0,2/10	1,5 ± 0,05/3	2,4 ± 0,1/5
As	3,4 ± 1/38	4,5 ± 1/23	6,4 ± 5/87	5,9 ± 2/29
Se	1,4 ± 0,1/8	1,6 ± 0,2/10	1,1 ± 0,2/15	1,7 ± 0,2/14
Rb	87 ± 4/4	99 ± 7/7	77 ± 5/7	105 ± 18/17
Sr	681 ± 72/10	829 ± 43/4	422 ± 24/5	748 ± 93/12
Y	29,8 ± 1/4	31,4 ± 2/5	27,2 ± 1/5	31,8 ± 4/12
Zr	323 ± 16/5	323 ± 34/10	214 ± 11/5	294 ± 30/10
Nb	10,8 ± 2/16	8,2 ± 1/16	11,2 ± 0,5/4	10,8 ± 3/28
Mo	3,9 ± 0,2/6	4,34 ± 0,2/6	2,5 ± 0,2/7	4,3 ± 0,2/6
Sn	4,4 ± 1/36	4,4 ± 1/20	2,5 ± 2/88	3,7 ± 2/66
Sb	1,02 ± 0,03/4	1,04 ± 0,05/5	0,9 ± 0,05/6	0,9 ± 0,05/6
Cs	10,4 ± 1/14	9,8 ± 2/19	8,5 ± 0,5/7	9,8 ± 1/13
Ba	989 ± 31/3	1088 ± 57/5	858 ± 22/2	1073 ± 258/24
Hg	0,04 ± 0,01/35	0,05 ± 0,01/20	0,06 ± 0,01/30	0,06 ± 0,01/17
Pb	10,4 ± 4/36	13,2 ± 3/24	19,7 ± 15/75	16,1 ± 5/34

Примечание. В числителе — стандартное отклонение; в знаменателе — коэффициент вариации. Прочерк — тип почвы отсутствует.

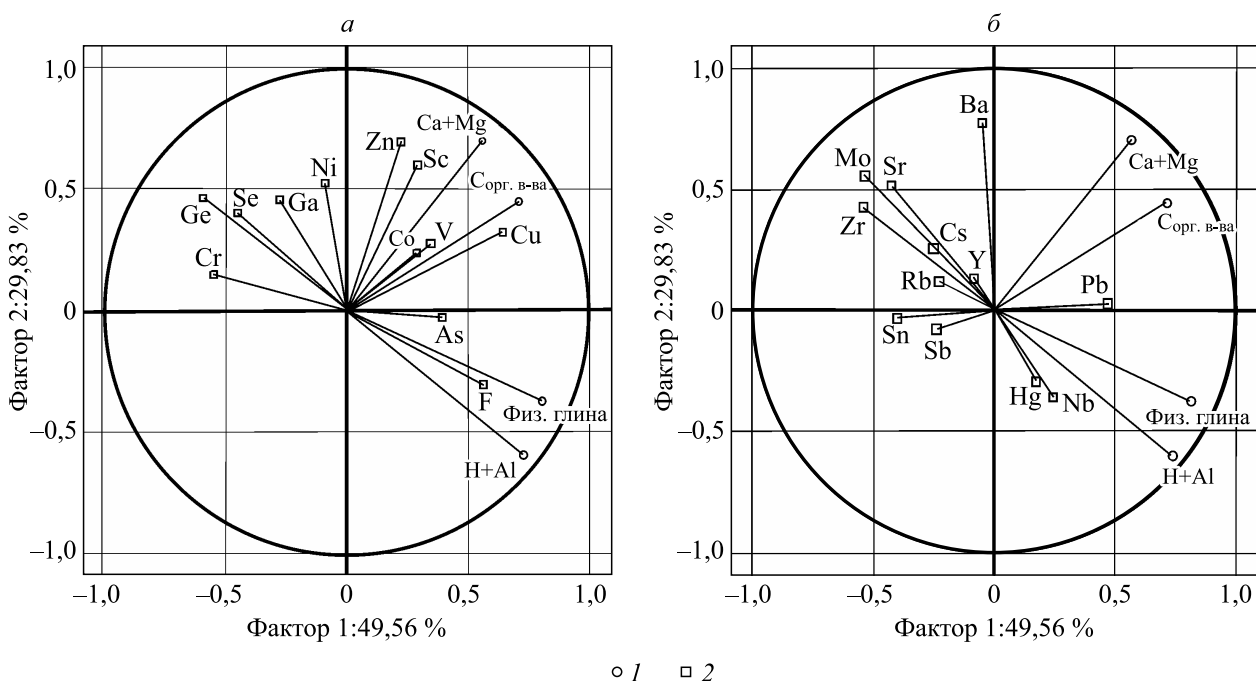


Рис. 2. Проекция коррелирующих переменных содержания микроэлементов и свойств аллювиальных почв пойм рек Селемджи и Зеи на факторную плоскость.

1 — свойства почв; 2 — микроэлементы.

кальция и магния или насыщенные основания. Из-за большого количества сравниваемых переменных микроэлементы были произвольно разделены на две группы и сопоставлены с одними и теми же свойствами почв (рис. 2).

Отношение содержания микроэлементов к свойствам аллювиальных почв на факторной плоскости показывает, что из всех определяемых микроэлементов гранулометрический состав почв влияет только на аккумуляцию фтора. Содержание органического вещества положительно коррелирует с распределением в почвенном профиле Cu, Co и V. Расположение As и Pb в нейтральной плоскости указывает на совместное влияние на их распределение гранулометрического состава и органического вещества. Таким образом, в исследуемых аллювиальных почвах аккумуляция As, Pb, F, Cu, Co и V идет в почвенных горизонтах с высокой органо-минеральной сорбционной способностью.

Значительная часть определяемых элементов на факторной плоскости расположена в поле, противоположном по отношению к обменной кислотности, т. е. чем выше кислотность почв, тем меньше их содержание в почве. К этим элементам относятся Cr, Ge, Ga, Se, Ni, Mo, Zr, Sr, Ba, Y, Cs, Rb. Положительные взаимоотношения с обменной кислотностью наблюдаются только у Hg и Nb. Однако и отрицательная, и положительная корреляция этих элементов по отношению к обменной кислотности не позволяет говорить о реакции среды почвенного раствора как о факторе аккумуляции или рассеивания по отношению к этим элементам. Наиболее кислые почвы — торфяно-глеевые и серогумусовые глеевые, в которых сильно развиты признаки глеевого процесса, указывающие на протекание в них восстановительных реакций. Поэтому распределение перечисленных элементов в почвах в равной мере может быть обусловлено как реакцией почвенного раствора, так и окислительно-восстановительным потенциалом аллювиальных почв.

Регулирование речного стока Зеи значительно повлияло на аккумуляцию элементов этой группы. Уменьшение кислотности почв и затухание восстановительных условий привело к накоплению элементов в аллювиальных почвах поймы реки. Особенно это проявилось в отношении Sr, содержание которого возросло в три раза.

Zn и Sc на факторной плоскости взаимодействуют с насыщенными основаниями, т. е. они накапливаются в горизонтах с высокой емкостью катионного обмена, но с близкой к нейтральной реакцией среды почвенного раствора. Иначе они бы частично коррелировали с обменной кислотностью, так как самые высокие значения ЕКО отмечены в торфяных почвах, характеризующихся сильноокислой реакцией среды.

Поведение Sn и Sb не до конца понятно, поскольку они находятся на стыке плоскостей обратных закономерностей по отношению ко всем определяемым свойствам почв. Основываясь на литературных данных, можно сделать предположение, что в аллювиальных почвах пойм рек Зеи и Селемджи Sn и Sb при кислой реакции среды образуют органические высокоподвижные комплексы, вымываемые из почв с грунтовыми и атмосферными водами [17].

### ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований была выполнена оценка фонового содержания микроэлементов в различных типах аллювиальных почв крупных рек Зейско-Селемджинской равнины Амурской области. Установлено, что для естественного геохимического фона аллювиальных почв пойм Зеи и Селемджи характерно накопление Co, Mo, Ge, Ni, Hg, Se и рассеивание F, Sc.

По фактору, влияющему на распределение аллювиальных почв по почвенному профилю, все элементы делятся на три группы:

- 1) As, Pb, F, Cu, Co, V, связанные с органо-минеральной сорбционной способностью почв;
- 2) Cr, Ge, Ga, Se, Ni, Mo, Zr, Sr, Ba, Y, Cs, Rb, Hg, Nb, распределение которых обусловлено реакцией среды почвенного раствора и окислительно-восстановительным потенциалом;
- 3) Zn, Sc, Sn, Sb, характеризующиеся комплексной зависимостью от нескольких почвенных свойств (ЕКО, рН, окислительно-восстановительного потенциала и органического вещества).

Также было определено, что регулирование стока р. Зеи повлияло на характер аккумуляции микроэлементов в аллювиальных почвах. Результатом осушения поймы стало смещение реакции среды почвенного раствора в сторону нейтральной и ослабление интенсивности восстановительных процессов, что привело к накоплению элементов второй группы, в ряде случаев к очень значительному.

Полученные данные характеризуют микроэлементный состав естественной, не загрязненной территории, поэтому они могут служить эталоном при оценке загрязнения пойменных земель других районов Амурской области, подверженных антропогенной деятельности. С учетом интенсивного развития гидротехнического строительства в регионе результаты исследования имеют большое значение для экологической оценки последствий воздействия сооружаемых гидроэлектростанций на геохимическое состояние почвенного покрова пойменных ландшафтов нижнего бьефа рек.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (14–05–31052 мол\_а, 14–05–31297 мол\_а).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сысо А. И., Ильин В. Б., Черевко А. С. Элементный химический состав почв Западной Сибири и факторы, его определяющие // Сиб. экол. журн. — 2002. — № 3. — С. 305–312.
2. Сысо А. И. Общие закономерности распределения микроэлементов в покровных отложениях и почвах Западной Сибири // Сиб. экол. журн. — 2004. — № 3. — С. 273–287.
3. Чернова О. В., Силева Т. М. Региональные фоновые концентрации некоторых микроэлементов в почвах Пензенской области // Вестн. МГУ. Сер. 17. Почвоведение. — 2000. — № 2. — С. 14–19.
4. Матвеев Ю. М., Попова И. В., Чернова О. В. Проблемы нормирования содержания химических соединений в почвах // Агрехимия. — 2001. — № 12. — С. 54–60.
5. Чернова О. В., Груздков Д. Ю. Изменения валового содержания микроэлементов в почвах европейской территории России в зависимости от их гранулометрического состава // Докл. по экол. почвоведению. — 2006. — Вып. 1, № 1. — С. 132–151.
6. Добровольский Г. В. Почвы речных пойм центра Русской равнины. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. — 293 с.
7. Сорокина О. А., Зарубина Н. В. Содержание химических элементов в аллювиальных почвах и донных отложениях реки Уркан (бассейн реки Амур) // Почвоведение. — 2013. — № 6. — С. 681–690.
8. Сорокина О. А. Особенности микроэлементного состава почв и растительности долины реки Джалинда (район золотодобычи) // Вестн. Сев.-Вост. науч. центра. — 2011. — № 3. — С. 89–95.
9. Сорокина О. А., Киселёв В. И. Анализ химического состава почв долины реки Джалинда // Геоэкология. — 2006. — № 5. — С. 425–432.
10. Ресурсы поверхностных вод СССР / Под ред. А. П. Муранова. — Л.: Гидрометеиздат, 1966. — Т. 18. — 782 с.
11. Агрехимические методы исследования почв / Под ред. А. В. Соколова. — М.: Наука, 1975. — 656 с.

12. **Аринушкина Е. В.** Руководство по химическому анализу почв. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. — 487 с.
13. **Шишов Л. Л., Тонконогих В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И.** Классификация и диагностика почв России. — Смоленск: Ойкумена, 2004. — 342 с.
14. **Гусев М. Н.** Морфодинамика днища долины Верхнего Амура. — Владивосток: Дальнаука, 2002. — 232 с.
15. **Гусев М. Н., Помигуев Ю. В.** Руслловые процессы Зеи в условиях современного хозяйствования // География и природ. ресурсы. — 2007. — № 2. — С. 113–117.
16. **Мартьянов А. В.** Аллювиальные почвы пойм крупных рек Амурской области в условиях регулируемого речного стока // Сб. докл. конф. с междунар. участием «Регионы нового освоения: экологическая политика в стратегии развития» (1–3 октября 2013 г., г. Хабаровск). — Хабаровск: Изд-во Ин-та водных и экологических проблем ДВО РАН, 2013. — С. 243–247.
17. **Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.** Микроэлементы в почвах и растениях. — М.: Мир, 1989. — 439 с.
18. **Глазовская М. А.** Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. — Смоленск: Ойкумена, 2002. — 287 с.
19. **Михайлов И. С., Михайлова Р. П., Солнцева Н. П.** Опыт составления крупномасштабной ландшафтно-геохимической карты горнотаежных районов для целей поисков полезных ископаемых // География почв и геохимия ландшафтов. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1967. — С. 135–167.
20. **Бююль А., Цёфуль П.** SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей. — СПб.: Изд-во «ДиаСофтЮП», 2005. — 608 с.

*Поступила в редакцию 11 августа 2014 г.*

---