

УДК 550.42 546.49 571.15

DOI: 10.15372/KhUR20170211

## Корреляционные связи ртути в почвах и донных отложениях оз. Большое Яровое

И. Н. МАЛИКОВА, В. Д. СТРАХОВЕНКО

Институт геологии и минералогии имени В. С. Соболева Сибирского отделения РАН,  
Новосибирск, Россия

E-mail: strahova@igm.nsc.ru

(Поступила 15.02.16; после доработки 13.05.16)

### Аннотация

Исследовано содержание ртути в засоленных почвах водосбора оз. Большое Яровое (Алтайский край). Установлено, что оно соответствует среднему содержанию ртути в солонцовых почвах степной зоны Алтайского края. Различия по типам почв связаны с особенностями солонцового и солончакового процессов. Распределение ртути в донных отложениях неравномерное, как по кернам на глубину отдельных скважин, так и в разных скважинах. Среднее содержание ртути и отношение Hg/Al для донных отложений значительно выше по сравнению с почвами из-за локального загрязнения, и только в прибрежных скважинах установлены низкие содержания ртути и отношение Hg/Al.

Факторный анализ и метод парной корреляции выявили различия в корреляционных связях ртути между почвами и донными осадками, как в гранулометрических фракциях, так и в исходных пробах. Общую картину распределения ртути в процессе осадконакопления дают результаты корреляционного анализа в исходных пробах почв и донных осадков. В почвах ртуть имеет положительные связи с терригенной составляющей – ее основным природным источником. Характерна отрицательная корреляционная связь с “карбонатной” группой (Ca, Mg, Sr) и с сурьмой. В донных отложениях ртуть имеет положительные корреляционные связи с сурьмой и марганцем, а с основным составом осадков связана только опосредованно. Эти результаты свидетельствуют об изменении формы нахождения ртути в процессе осадкообразования, что подтверждает ее локальное поступление из техногенного источника, которое сопровождается сурьмой.

**Ключевые слова:** ртуть, Алтайский край, оз. Большое Яровое, почвы, донные отложения, факторный анализ

### ВВЕДЕНИЕ

Изучение распределения элементов по акватории оз. Большое Яровое (Алтайский край) в почвах и донных осадках имеет как теоретическое, так и практическое значение. Озеро является важным перспективным источником химического сырья и лечебного ила, базой заготовки ценного биологического кормового сырья (ракоч *Artemia Salina*). Район озера представляет собой курортную и бальнеологическую зону, но на его берегу функционирует химическое предприятие АО “Алтайхимпром”, отходы которого содержат опас-

ную для окружающей среды ртуть. Выявлено загрязнение взвеси из снеговой и озерной воды, зоопланктона, а также локальное загрязнение почв и донных отложений [1–5].

Оз. Большое Яровое расположено в Центральной Кулундинской впадине, бессточное. Ландшафтно-климатические условия характеризуются малым количеством осадков (250–300 мм/год) и повышенным испарением, что обусловливает высокую степень засоления вод озера и почв его водосбора.

По минерализации воды озера, согласно классификации О. А. Алекина [6], были отнесены к сульфатно-хлоридному типу, а по не-

которым данным, в настоящее время, — к хлоридно-натриевому [7]. Водное питание озеро получает за счет снеговых, грунтовых вод и многочисленных родников. Донные отложения озера представлены песчанистыми илами. Изолинейные карты распределения содержания микроэлементов (программа Statistica 12) в почвах и донных отложениях выявили локальные зоны повышенных концентраций ртути, приуроченные к району расположения отходов химкомбината и сброса сточных вод г. Яровое [9].

Почвы района сформировались на основе покровных лессовидных суглинков. По периферии озерной котловины на разновозрастных озерных террасах сформировался сложномозаичный почвенный покров от более древних каштановых почв и черноземов южных солонцеватых до более молодых солончаков и солонцов. В юго-восточной, пониженной части водосбора сформировались луговые солончаки. Каштановые почвы и черноземы южные солонцеватые расположены на возвышенных участках в элювиальных ландшафтах.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Опробование почв проводилось по генетическим горизонтам до исходных пород на площади водосбора в 14 разрезах (74 пробы). Донные отложения опробовались с катамарана специальными пробоотборниками в 15 скважинах (74 пробы) на глубину до 90 см (рис. 1). Пробы отбирались через каждые 3 см и тщательно упаковывались. В некоторых почвенных разрезах и кернах донных осадков проведен гранулометрический анализ методом отмучивания и выделены фракции для анализа ( $>0.25$ ,  $0.25-0.16$ ,  $0.16-0.02$  и  $<0.02$  мм). Основная доля в механическом составе почв, определенном по методу Н. А. Качинского, представлена крупнопылеватой фракцией 0.05–0.01 мм. По содержанию физической глины (фракция 0.01– $<0.001$  мм) они относятся к легким и средним суглинкам [8].

Согласно данным рентгеноструктурного анализа, донные отложения состоят из органического вещества, кварца, плагиоклаза,

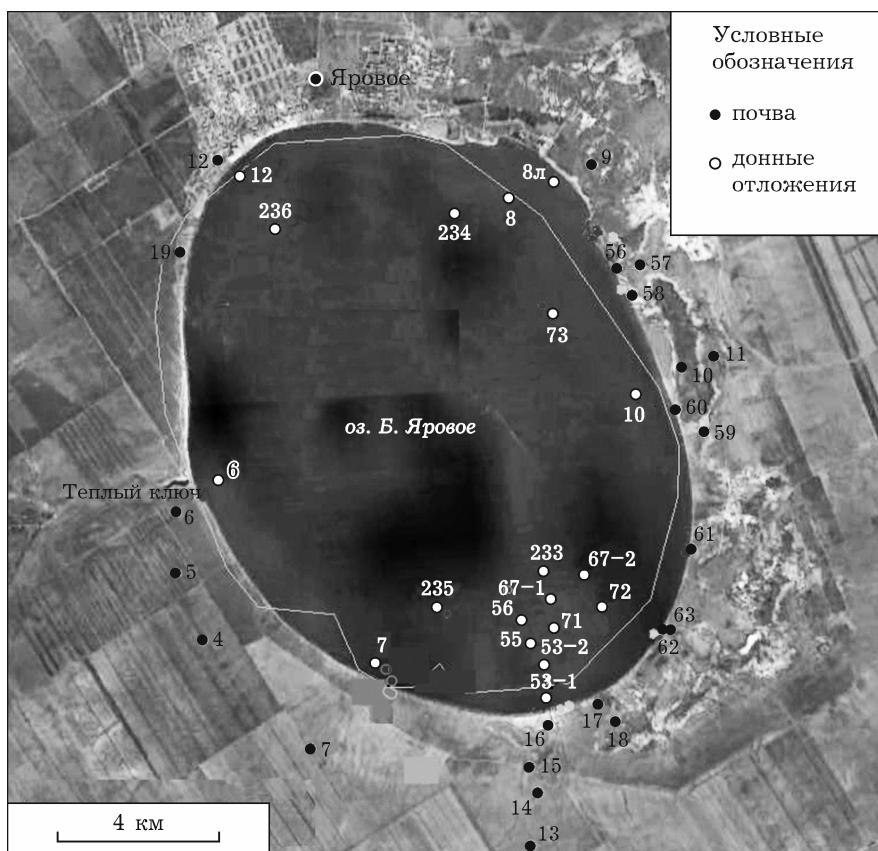


Рис. 1. Схема отбора проб озерной системы Б.Яровое.

калиевого полевого шпата, кальцита, иногда включают прослои мирабилита ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) и примеси галита ( $\text{NaCl}$ ).

Инструментальное атомно-абсорбционное определение ртути проводилось методом “холодного пара” на ртутно-гидридной приставке MHS-20 к прибору фирмы Perkin-Elmer в ИГМ СО РАН (аналитики Ж. О. Бадмаева, Н. В. Андросова) по аккредитованной методике с пределом обнаружения 0.01 г/т. (Лаборатория аккредитована ассоциацией аналитических центров “АНАЛИТИКА” и зарегистрирована в государственном реестре № РОСС RU 0001.510590.) Помимо ртути атомно-абсорбционным методом проанализирован ряд макро- и микроэлементов.

Распределение элементов в донных осадках и в почвах водосбора обусловлено действием многих факторов, в том числе условиями засоления. Для выявления влияния других элементов на распределение ртути использованы метод парной корреляции и факторный анализ, которые проводились как для исходных проб, так и для гранулометрических фракций.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 приведены результаты определения ртути в разных типах почв водосбора оз. Большое Яровое. В целом содержание ртути

во всех типах почв ниже по сравнению со средним значением для почв Алтайского края [10] и соответствует данным для солонцовых почв этой ландшафтной зоны. В зональных каштановых почвах и черноземах южных средние содержания ртути близки. Формирование солончаков происходит при сильном испарении в условиях выпотного режима. Токи почвенно-грунтовых вод поднимаются к поверхности, где накапливаются легкорастворимые соли. Это может вызвать частичный переход ртути в газовую фазу, что, вероятно, снижает ее содержание в почвенных разрезах. В солонцах коллоиды и легкорастворимые соли, образующиеся при рассолении, перемещаются вниз, где формируется иллювиальный солевой горизонт, что, очевидно, способствует сохранению ртути в почвенном разрезе. Эти особенности находят свое отражение в содержании ртути в почвах. Повышенное содержание ртути характерно для луговых и лугово-болотных солончаков из-за более высокого содержания в них органического вещества. В гранулометрических фракциях каштановых почв среднее содержание ртути составляет 0.006–0.016 мг/кг. Значительное увеличение содержания ртути наблюдается в солонцах, особенно во фракции <0.02 мм (0.034–0.188 мг/кг).

Распределение ртути в донных отложениях носит неравномерный характер (табл. 2).

ТАБЛИЦА 1

Среднее содержание ртути ( $\bar{X}$ ) и отношение Hg/Al для разных типов почв

Типы почв	<i>n</i>	$\bar{X}$ , мг/кг		Hg/Al, $10^{-6}$	
		Среднее	Пределы вариации	Среднее	Пределы вариации
Каштановая	5	0.040	0.031–0.047	0.009	0.006–0.012
Черноземы южные солонцеватые	15	0.036	0.014–0.097	0.007	0.003–0.019
Солончаки	8	0.021	0.011–0.033	0.005	0.002–0.008
Солонцы	20	0.048	0.022–0.071	0.009	0.004–0.016
Солонец солончаковый	6	0.028	0.019–0.036	0.009	0.003–0.034
Солонец осололедильный	5	0.034	0.024–0.045	0.008	0.006–0.062
Солончак на солонце	5	0.065	0.041–0.091	—	—
Солончаки луговые и лугово-болотные	10	0.058	0.026–0.12	—	—
Среднее	74	0.040	0.011–0.097	0.008	0.002–0.062

Примечание. Здесь и в табл. 2: *n* – число проб. Прочерк – алюминий в пробах не определяли.

ТАБЛИЦА 2

Среднее содержание ртути ( $\bar{X}$ ) и отношение Hg/Al в донных отложениях

Номер скважины	$n$	$\bar{X}$ , мг/кг		$n$	$Hg/Al, 10^{-6}$	
		Среднее	Пределы вариации		Среднее	Пределы вариации
<b>Прибрежная часть акватории</b>						
6, 7, 12, 8л	20	0.018	0.010–0.040	12	0.04	0.002–0.009
<b>Северо-восточная часть акватории</b>						
8	5	0.052	0.020–0.120	3	0.016	0.005–0.031
73	12	0.233	0.039–0.360	12	0.058	0.010–0.280
<b>Южная часть акватории ("карбонатный берег")</b>						
53	14	0.057	0.037–0.083	14	0.009	0.007–0.015
56	6	0.064	0.040–0.110	6	0.015	0.07–0.021
67	6	0.217	0.084–0.360	6	0.038	0.014–0.065
71	11	0.060	0.022–0.120	11	0.011	0.004–0.023
Среднее	74	0.089	0.010–0.360	52	0.025*	0.004–0.280

*Примечание.* Обозн. см. табл. 1.

\*Без учета прибрежных скважин.

В целом ее среднее содержание в донных отложениях значительно выше по сравнению с различными типами почв. Наименьшие содержания чаще характерны для прибрежных скважин. Это связано с тем, что основная масса осадка в них образуется за счет обрушения почв и пород береговой зоны и представлена преимущественно крупнообломочной составляющей. Скважины северо-восточной части акватории находятся в зоне лугово-болотных почв, где повышено содержание органики, и рядом с территорией складирования отходов комбината, в северной части водосбора. Здесь высокое содержание ртути фиксируется во многих слоях как результат техногенного загрязнения. Осадки южной части акватории приурочены к почвенной зоне с высоким содержанием карбонатов. Помимо кальция в них повышенны содержания марганца, соединения которого обладают высокой сорбционной способностью. Значительное содержание Mn также установлено в отложениях лугово-болотной береговой зоны. Таким образом, обогащение ртутью донных отложений обусловлено их способностью накапливать ее как из природного, так и из техногенного источников.

Исходным природным источником ртути преимущественно служат алюмосиликатные горные породы. При выветривании раствори-

мость гидроксидных соединений алюминия низкая, особенно в слабокислых и слабощелочных условиях, характерных для данного района. Вследствие этого исходное содержание алюминия в переходящей в минеральную часть алюмосиликатной составляющей практически сохраняется, на что также указывает его незначительная миграция в водную фазу: содержание Al в воде озера варьирует в диапазоне 0.12–0.25 мг/л. Это позволяет путем нормирования по Al содержаний ртути в почвах и донных отложениях выделить поступления ее из природного и техногенного источников (см. табл. 1, 2). Видно, что по этому показателю почвы в целом значительно отличаются от донных осадков. Среднее отношение  $Hg/Al$  в них равно  $0.008 \cdot 10^{-6}$ , а в донных осадках оно сильно варьирует от скважины к скважине, в зависимости от их расположения и глубины отбора керна: от  $0.004 \cdot 10^{-6}$  в прибрежной части до  $(0.038–0.058) \cdot 10^{-6}$  в других частях акватории. Эту вариативность подтверждают и данные гранулометрического анализа. Таким образом, во многих случаях в донных осадках отношение  $Hg/Al$  в несколько раз превышает аналогичный показатель для почв. Ртуть может находиться как в минеральной, так и в органической формах. Это подтверждается результатами расчетов по донным отложениям для

большого числа озер Алтайского края и Новосибирской области: для донных осадков терригенного состава среднее отношение Hg/Al равно  $0.005 \cdot 10^{-6}$ , а в осадках с большим содержанием органики и более низким содержанием Al, в том числе в сапропелях –  $0.080 \cdot 10^{-6}$  [12]. Здесь присутствует ртуть из природных и удаленных природно-антропогенных источников. Отношение Hg/Al в почвах водосбора оз. Большое Яровое и в терригенных осадках озер одинаковое, следовательно, содержание ртути в них близко к фоновым значениям. Очевидно, для почв влияние техногенной составляющей за счет воздушного переноса ртути весьма незначительно. Загрязнение ртутью фиксируется для ряда образцов, отобранных в непосредственной близости от расположения отходов комбината (взяты из верхнего горизонта почвы и в выборку не вошли).

Результаты факторного анализа по фракциям почв показали следующее. Во фракциях  $>0.25$  и  $0.25–0.16$  мм у ртути корреляционных связей не выявлено. Большая часть элементов, за исключением “карбонатной группы” (Ca, Mg, Sr), характеризуются положительными корреляционными связями, что свидетельствует об их входлении преимущественно в обломочную составляющую почвы. Таким образом, ртуть в этих фракциях не входит в общую систему корреляционных связей и присутствует, вероятно, в основном в свободной форме  $Hg^0$ .

Во фракциях  $0.16–0.02$  и  $<0.02$  мм ртуть имеет положительные корреляционные связи с многими элементами. Так, для фракции  $0.16–0.02$  мм это группа полиметаллов (Cd, Zn, Cu, Pb), группа железа (Fe, Ni, V, Mn, Co) и частично полевошпатовая группа (Al, K, Ba, Be). Отрицательная связь у ртути, как и у многих других элементов, наблюдается с Ca, который входит в “карбонатную группу”. Таким образом, в этой фракции ртуть входит в общую систему корреляционных связей алюмосиликатной матрицы. В гранулометрической фракции  $<0.02$  мм число положительных корреляционных связей ртути уменьшается. Из “полиметаллической группы” сохраняются положительные связи с Cu и Pb, из второй группы – с V и Mn, из третьей – с Al, Na, Be. Отрицательные связи ртуть имеет с Ca и Sr, входя-

щими в “карбонатную группу”. Этот результат можно интерпретировать как переход основной массы ртути от связей с минеральной частью почвы к ее органической составляющей и марганцевым выделениям. Проявляется отрицательное влияние карбонатизации.

Результаты факторного анализа по фракциям донных отложений дают основание для оценки поведения ртути в процессе современной седиментации.

Во фракции  $>0.25$  мм ртуть не имеет непосредственных положительных корреляционных связей с элементами алюмосиликатной части осадков и связана с ней только через положительную корреляцию с Mn и Co, образуя группу Hg, Ca, Co, Mn. Можно предположить, что в основном это обломочная карбонатная фракция с марганцевыми корочеками. Как и большинство элементов, ртуть имеет отрицательную связь с Na, что свидетельствует о влиянии засоления осадков.

Во фракции  $0.25–0.16$  мм у ртути имеется только одна положительная корреляционная связь с Sb, которая, в свою очередь, связана с большей частью элементов алюмосиликатной составляющей. “Карбонатная группа” обособляется за счет положительных связей Ca с Mg, Sr и Li.

В гранулометрической фракции  $0.16–0.02$  мм большинство элементов положительно связаны, формируя основной состав обломочной части осадков. Ртуть и сурьма также имеют положительную корреляцию, но входят в состав этой части опосредованно, за счет положительных связей с Be и Ni. В результате посредством взаимосвязей образуется группа элементов: Hg, Cd, Zn, Be, Ni, Sb, Mn, Al, Cr. Большинство из них связано с обломочной составляющей, от которой обособляется “карбонатная группа” (Ca, Sr, Mg).

Гранулометрическая фракция  $<0.02$  мм характеризуется в целом значительным сокращением общих положительных корреляционных связей у всех элементов и увеличением числа отрицательных. В ряду элементов с положительными связями (Fe, Ni, V, Al, Be) имеются частные положительные связи со многими другими, в том числе для Ni характерны связи с Hg, Co, Ba. В результате таких связей образуется группа Hg, Cd, Ni, Sb, Mn, Co, Ba, где ртуть непосредственно связана с Sb, Cd, Ni, а Cd – с Hg, Mn и Sb.

Другой ряд элементов, представленный Li, Mg, Sr, Na, к которым примыкает Ca за счет положительной связи с Sr и Na, полностью отделен от первого ряда отрицательными связями. Эти элементы имеют общие пути миграции в озерной системе.

Таким образом, имеются различия в корреляционных связях ртути в почвах и донных осадках. В почвах у ртути в крупных фракциях связи отсутствуют. В донных отложениях во фракции  $>0.25$  мм имеются положительные связи ртути с Mn и Co, поэтому необходимо учитывать роль марганцевых выделений в концентрировании Hg и Co. Во фракции 0.25–0.16 мм имеет значение положительная связь ртути с Sb и опосредованная ее связь с алюмосиликатной составляю-

щей. В почвах у ртути вообще не наблюдается корреляционных связей с Sb, а в донных отложениях она сохраняется и во фракциях 0.16–0.02 мм и  $<0.02$  мм. Во фракциях 0.16–0.02 и  $<0.02$  мм ртуть в донных отложениях имеет только опосредованную связь с обломочной составляющей, а в почвах она непосредственно входит в нее. Во фракции донных осадков  $<0.02$  мм корреляционные положительные связи ртути сокращаются за счет “карбонатной группы” и Na, которые полностью отделены отрицательными корреляционными связями.

Результаты дополнительно использованного метода парной корреляции подтвердили основные результаты факторного анализа (табл. 3).

Корреляционные связи элементов в исходных пробах определяются их связями во

ТАБЛИЦА 3

Коэффициенты корреляции Hg в почвах и донных отложениях

Элементы	Почвы					Донные отложения				
	Исходные Гранулометрические фракции, мм					Исходные Гранулометрические фракции, мм				
		$>0.25$	0.25–0.16	0.16–0.02	$<0.02$		$>0.25$	0.25–0.16	0.16–0.02	$<0.02$
Li	-0.3	-0.2	0.0	0.1	-0.1	0.0	0.3	0.4	0.2	-0.2
Be	0.3	-0.1	0.0	0.7	0.5	0.1	0.2	-0.0	0.4	0.5
Na	-0.2	0.1	-0.0	-0.0	0.5	0.2	-0.7	-0.3	-0.0	-0.5
Mg	-0.3	-0.1	-0.0	-0.2	-0.3	0.1	0.3	0.3	-0.0	-0.2
Al	0.3	-0.1	0.2	0.6	0.5	0.1	0.4	0.6	0.4	0.2
Sb	-0.3	0.1	0.0	0.3	0.3	0.4	0.1	0.7	0.7	0.6
K	0.4	0.0	0.1	0.6	0.4	0.1	0.2	0.2	0.3	-0.1
Ca	-0.4	-0.0	-0.1	-0.5	-0.6	0.1	0.8	0.3	-0.1	-0.2
V	0.2	-0.2	0.2	0.6	0.6	0.0	0.4	0.4	0.3	0.2
Cr	0.2	-0.4	-0.6	0.2	0.1	0.0	0.4	0.5	0.4	-0.1
Mn	0.5	-0.1	0.3	0.6	0.5	0.4	0.6	0.1	0.5	0.4
Fe	0.3	-0.1	0.2	0.6	-0.1	0.0	0.4	0.4	0.3	0.0
Co	0.4	-0.1	0.1	0.5	0.4	0.0	0.7	0.5	0.4	0.3
Ni	0.5	-0.2	0.1	0.7	0.3	0.1	0.5	0.6	0.5	0.6
Cu	0.4	-0.1	0.2	0.7	0.7	0.1	0.5	0.5	0.3	-0.2
Zn	0.4	-0.2	0.3	0.7	0.4	0.0	0.4	0.5	0.4	0.5
Sr	-0.4	-0.1	-0.0	-0.4	-0.5	0.1	0.3	0.1	-0.1	-0.2
Cd	0.5	-0.3	0.4	0.8	0.3	0.1	0.5	0.5	0.9	0.8
Ba	0.4	-0.1	-0.0	0.4	0.2	0.3	0.3	0.5	0.2	0.2
Hg	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Pb	0.4	0.0	0.1	0.5	0.6	0.2	0.5	0.5	0.2	0.5
Th	0.5					0.0				
U	0.1					0.1				
<i>n</i>	59	21				63	17			

Примечание. Обозн. см. табл. 1.

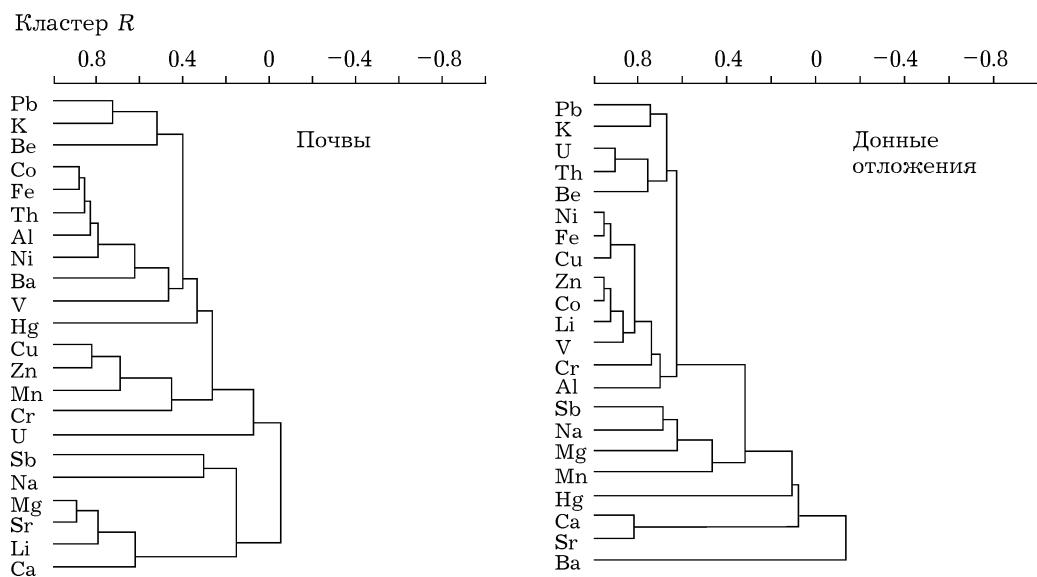


Рис. 2. Дендрограмма кластер-анализа R-типа содержаний макро- и микроэлементов в почвенных разрезах и в колонках донных отложений.

фракциях в зависимости от механического состава. Они дают общую картину распределения ртути в процессе осадкообразования.

По результатам факторного анализа исходных проб почв для большинства элементов выявлены положительные корреляционные связи (рис. 2). Здесь основной алюмосиликатный каркас составляют Al, Fe, Co, Ni, Ba, K, Pb, Hg, Th, т. е. ртуть непосредственно связана с обломочной составляющей. Помимо этого, у ртути наблюдаются положительные связи с Mn, Cu, Cd, Zn и, как и у многих других элементов, – отрицательная связь с “карбонатной группой” (Ca, Mg (Li), Sr). Характерна отрицательная связь с Sb.

В донных отложениях для большей части элементов сохраняются положительные корреляционные связи (см. рис. 2). Отрицательных связей практически нет, за исключением Sr, который имеет положительную связь только с Ca и Mg. Ртуть фактически не связана с основным составом осадков. Опосредованная связь осуществляется только за счет положительной корреляции ртути с Sb и Mn. Как и в почвах, в донных осадках наблюдается обособление “карбонатной группы” (Ca, Mg, Sr), в которой элементы положительно коррелируют друг с другом. В донных осадках отрицательную связь с алюмосиликатной составляющей имеет только Sr. Это, очевид-

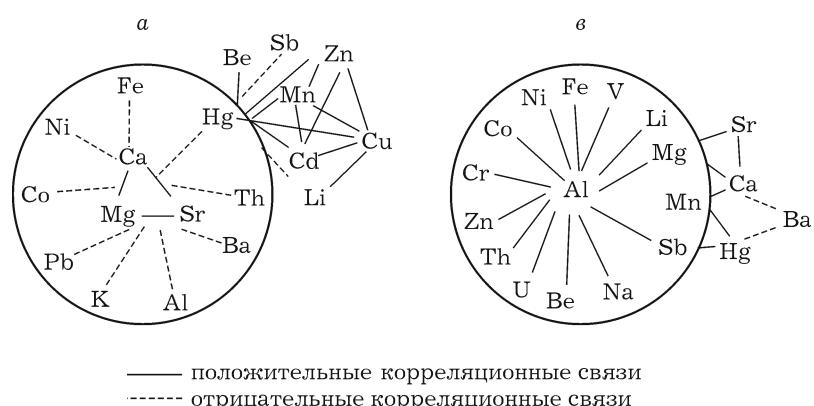


Рис. 3. Схема корреляционных связей ртути в почвах (а) и в донных отложениях (б).

но, связано с большей растворимостью Sr, по сравнению с Ca и Mg, которые преимущественно переходят в осадки.

Таким образом, различия корреляционных связей ртути и других элементов в гранулометрических фракциях привели к существенным отличиям этих связей в осадках от почв (рис. 3). Согласно результатам сравнительного анализа фракций и исходных проб, наибольшее влияние на общее распределение ртути в почвах оказывают фракция 0.16–0.02 мм, а в донных отложениях – фракции 0.16–0.02 и <0.02 мм.

Следует заметить, что в корреляционном анализе не учитывались содержания органического вещества в почвах и донных осадках. Строго говоря, полученные результаты касаются только минеральной части, а выводы о роли органики косвенные. В среднем ее содержание в донных отложениях озера составляет, по результатам определения потерь при прокаливании, примерно 6 %. Ранее по результатам факторного анализа донных отложений более 100 озер Сибири и почв их водосборных площадей установлены положительные корреляционные связи ртути и кадмия с потерями при прокаливании [11].

Неравномерность распределения ртути в донных отложениях вследствие ее поступления из техногенного источника снижает уровень ее корреляции с содержанием других элементов. Вторым осложняющим фактором являются данные анализа с низким содержанием ртути (на пределе обнаружения), что особенно характерно для почв. Это установлено по данным парной корреляции (см. табл. 2) и отражено в соответствующих графиках. Тенденция к прямой корреляционной связи ртути с другими элементами наиболее четко выражена обычно в интервале ее содержаний 0.030–0.100 мг/кг. Отсутствие корреляции в области повышенных содержаний или вторая ее ветвь свидетельствуют об изменении формы нахождения, в том числе и из-за поступления ртути из техногенного источника. Таким образом, изучение корреляционных связей ртути выявило ряд важных особенностей в ее распределении в процессе осадконакопления.

## ВЫВОДЫ

1. Сравнение средних содержаний ртути в почвах водосборной площади и в донных отложениях оз. Большое Яровое показывает значительное увеличение ртути в осадках относительно всех типов почв. Это подтверждает соотношение Hg/Al, которое позволяет оценить вклад алюмосиликатной составляющей в общее содержание ртути.

2. Факторный анализ и метод парной корреляции выявили различия в корреляционных связях ртути между почвами и донными отложениями во фракциях и в исходных пробах. В почвах ртуть связана с обломочной частью: с алюмосиликатами и группой полиметаллов (Cd, Cu, Zn); отрицательная связь – с группой Li, Ca, Mg, Sr и с Sb. В донных отложениях ртуть имеет положительную корреляционную связь только с Sb и Mn и с основной матрицей связана опосредованно. Это свидетельствует об изменении формы нахождения ртути при осадкообразовании, что в основном вызвано поступлением ртути из источника, не связанного с терригенным материалом почв.

3. Результаты исследования корреляционных связей в донных отложениях подтверждают наличие локального техногенного загрязнения ртутью, которое сопровождается сурьмой. В почвах влияние воздушного техногенного загрязнения ртутью незначительно. Методы корреляционного анализа можно использовать и при изучении других озерных систем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Темерев С. В., Галахов В. П., Эйрих А. Н., Серых Т. Г. // Химия уст. разв. 2002. Т. 10, № 4. С. 485–496.
- 2 Щербов Б. Л., Страховенко В. Д., Маликова И. Н. // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 10. С. 1024–1035.
- 3 Леонова Г. А., Бобров В. А., Богуш А. А., Бычинский В. А., Аношин Г. Н. // Геохимия. 2007. № 10. С. 1114–1128.
- 4 Маликова И. Н., Устинов М. Т., Аношин Г. Н., Бадмаева Ж. О., Маликов Ю. И. // Геология и геофизика. 2008. Т. 49, № 1. С. 59–66.
- 5 Маликова И. Н., Страховенко В. Д., Устинов М. Т., Маликов Ю. И., Бадмаева Ж. О. // Матер. VI Междунар. конф. “Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде”, Семей, Казахстан, 2010. Т. 2. С. 123–128.

- 6 Никольская Ю. П. Процессы солеобразования в озерах и водах Кулундинской степи. Новосибирск: Изд-во СО РАН СССР, 1961. 181 с.
- 7 Долматова Л. А. // Мир науки, культуры, образования. 2010. №6(25). С. 272–277.
- 8 Герасимов И. П., Глазовская М. А. Основы почвоведения и география почв. М.: Изд-во географической литературы, 1960. 490 с.
- 9 Маликова И. Н., Страховенко В. Д., Восель Ю. С., Чупина Д. Ю., Устинов М. Т. // Соврем. проблемы геохимии: матер. Всерос. совещания (с участием иностранных ученых), посвященных 95-летию со дня рождения Л. В. Таусона. Т. 1. Иркутск: Изд. Ин-та географии СО РАН, 2012. С. 179–183.
- 10 Anoshin G. N., Malikova I. N., Kovalev S. I., Androsova N. V., Sukhorukov F. V., Tsibulchik V. M., Shcherbov B. L. // Chem. Sust. Develop. 1995. Vol. 3, No. 1–2. P. 63–104.
- 11 Страховенко В. Д., Маликова И. Н., Щербов Б. Л. // Химия уст. разв. 2012. Т. 20, № 1. С. 117–123.
- 12 Страховенко В. Д., Таран О. П., Ермоляева Н. И. // Геология и геофизика. 2014. Т. 55, № 10. С. 1466–1477.

