

## НЕКОТОРЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОЗЕРНОЙ СИСТЕМЫ ОЗ. БОЛЬШОЕ ЯРОВОЕ (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ).

Маликова<sup>1</sup> И.Н., Страховенко<sup>1</sup> В.Д., Восель<sup>1</sup> Ю.С., Чупина<sup>1</sup> Д.А., Устинов<sup>2</sup> М.Т.

<sup>1</sup>*Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева СО РАН, г. Новосибирск,  
e-mail: strahova@igm.nsc.ru*

<sup>2</sup>*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск*

Озеро Большое Яровое в Алтайском крае в последнее время привлекает к себе повышенное внимание исследователей. Это связано, прежде всего, с нахождением на его берегу химического предприятия АО «Алтайхимпром» по производству оксида ртути. Район имеет важное туристическое и рекреационное значение. Было выявлено, что отходы химического комбината являются источником загрязнения ртутью твердых частиц из снеговой и озерной воды, зоопланктона и локального загрязнения почв и донных отложений [Темерев и др. 2002; Леонова и др., 2007; Маликова и др., 2010 и др.]. В процессе этих работ получено много геохимических данных по почвам и донным отложениям, сформировавшимся в условиях сухостепной зоны. Это дает возможность изучения озерной системы соляного оз. Большое Яровое в качестве типового объекта.

Озеро Большое Яровое находится в зоне с годичным количеством атмосферных осадков 250-300 мм. Оно является бессточным, водное питание получает за счет снеговых и грунтовых вод и относится к сульфатно-хлоридному типу. Общая минерализация воды в озере составляет 170-250 г/л, изменяясь в зависимости от времени года и количества осадков. Донные отложения представлены илами с прослойками мирабилита. По периферии озерной котловины на разновозрастных террасах сформировался сложный почвенный покров от более древних каштановых почв и черноземов южных солонцеватых, расположенных на возвышенных участках в элювиальных ландшафтах, до солончаков и солонцов. В юго-восточной, наиболее пониженной части, сформировались луговые солончаки.

Опробование почв проводилось методом трансект-катен [Устинов, 2001] по генетическим горизонтам. В окрестностях озера Большое Яровое почвы опробованы в 14 разрезах, донные отложения – в 15 скважинах. Пробы проанализированы на ряд макро- и микроэлементов атомно-абсорбционным методом. На уран, торий, калий – гамма-спектрометрическим. В водных вытяжках определен состав главных подвижных анионов и катионов. Проведена статистическая обработка полученных данных и построены карты распределения микроэлементов. В таблице 1 и 2 приведены средние содержания макро- и микроэлементов в почвах водосбора и донных отложениях озера.

Н.М. Страховым обосновано положение о том, что «континентальный озерный галогенез и в целом, и в деталях есть производное того геологического субстрата, среди которого располагаются солеродные озера» [Страхов, 1962, т. III, стр. 270], а механическая и химическая денудация пород водосбора и их состав определяют и состав осадков континентальных водоемов [Страхов, 1962]. Это подтверждено исследованиями большого числа континентальных озер Сибири [Страховенко, Маликова, 2010].

Детальное изучение конкретных разрезов в озерной системе соляного озера Большое Яровое позволило выявить ее особенности. При общем соответствии вариаций средних значений макрокомпонентов по отдельным разрезам отмечается понижение содержаний в донных осадках Са и Sr и некоторое увеличение К, Na, Fe, Al и Mn, по сравнению с почвами, при близких значениях по Ва и Mg. Это в значительной степени является следствием проявления карбонатизации в большинстве почвенных разрезов. С этим связана существенная вариация отношений Al/Ca, Ca/Mg, Ca/Ba, Ca/Sr в почвах (средние значения отношений и отношений с повышенным содержанием Са составляют 4.0-1.1, 3.6-5.8, 100-179 и 104-147 соответственно). Это находит свое отражение и в ряде колонок донных отложений. Хорошее соответствие между почвами и донными осадками озера наблюдается по

отношениям Fe/Al, Fe/Mg, Fe/Mn, Ba/Sr. В донных отложениях, как и следовало ожидать, понижаются отношения K/Na за счет увеличения содержания Na.

Таблица 1

Средние содержания макроэлементов, марганца, бария и стронция в почвах и донных отложениях (оз. Большое Яровое)

Элементы	Почвы				Донные отложения			
	X <sub>ср</sub>	X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	Кол-во проб	X <sub>ср</sub>	X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	Кол-во проб
Mg%	1.04	0.47	2.62	59	1.00	0.34	2.04	73
Ca%	$\frac{3.19}{0.77}$ и 5.40*	0.61	6.34	59	2.26	0.81	5.47	73
K%	1.54	1.00	1.87	59	1.76	1.39	1.91	73
Na%	1.35	1.01	1.94	59	2.20	1.64	3.19	73
Fe%	1.69	1.09	2.86	59	2.08		2.83	73
Al%	4.75	3.20	6.38	59	5.14	3.71	6.27	73
Mn, г/т	461	358	6.16	75	593	424	698	73
Ba, г/т	347	270	404	75	318	280	363	73
Sr, г/т	$\frac{363}{114}$ и 601*	100	1132	75	185	118	777	73

Примечание: \*для Ca и Sr в знаменателе приведены средние значения для проб с минимальными и повышенными содержаниями. X<sub>min</sub> и X<sub>max</sub> – данные по средним содержаниям в конкретных разрезах.

Самым существенным является изменение соотношения Ca-Al, которое в целом определяет распределение в почвенных разрезах карбонатной и терригенной составляющих. Обычно отношение Al/Ca по почвенным разрезам варьирует незначительно, но резко уменьшается в карбонатизированных горизонтах. Обнаруживается преимущественно прямая зависимость между изменением содержаний ряда элементов в почвенных разрезах. Это, прежде всего, касается Fe и Al, что свидетельствует о приуроченности Fe к терригенной части почв. Соответственно большей частью отмечается тенденция к прямой связи между изменением содержаний и других элементов, которые можно отнести к так называемым тяжелым металлам (Mn, Zn, Cr, Ni, Co). Геохимические связи Mg-Li, Zn-Cd практически не проявлены; только в некоторых разрезах отмечаются связи Ni-Co, K-Ba. Сравнение распределения элементов в почвенных разрезах водосбора с их распределением в колонках донных отложений показывает, что эти тенденции сохраняются.

Особенностью засоленных почв водосбора оз. Большое Яровое является снижение вниз по разрезам большой группы элементов. К таким элементам относятся: Pb, Cu, Cd, Zn, Mn, Cr, V, Fe, Hg, часто Ni и Co. В некоторых случаях содержание микроэлементов снижено также в перегнойном горизонте, вероятно, из-за увеличения массы органического материала. Одной из причин снижения содержаний ряда макро- и микроэлементов в нижних горизонтах почв является возрастание вниз по разрезу почв содержания подвижных форм анионов ( $\text{HCO}_3^{1-}$ ,  $\text{Cl}^{1-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) в водных вытяжках, сопровождающееся увеличением подвижности катионов, в том числе  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{1+}$ , а также в ряде разрезов  $\text{Ca}^{2+}$ .

Такое распределение элементов является наиболее типичным в геосистеме озера Большое Яровое. В то же время каждый разрез представляет собой сложную систему со своей спецификой. Так, например, оно нарушается в случаях, где карбонатизация проявлена по всему разрезу. Это вызывает значительное снижение содержания Al (терригенной составляющей) и Al/Ca отношения (в среднем оно неравномерно снижается с 7 до 0.55). В таких почвах распределение большинства элементов весьма сложное: содержания сильно варьируют и даже отмечается повышение содержаний ряда элементов вниз по разрезу со снижением степени карбонатизации и повышения роли терригенной составляющей (Cd, Pb, Ni, Co, V, Fe, Al).

Содержание большинства микроэлементов в почвах и донных отложениях близки (см. табл. 2). Наибольшие различия наблюдаются по Zn, Cr, Ni, V и Hg. Взаимосвязанное изменение содержаний элементов по почвенным разрезам преобладает для Fe-Al, Fe-Mn, Fe-Cr, Ni-Co, Cr-Ni, Zn-Cu, Ca-Sr, K-Ba, иногда Mg-Li, Mg-Ni. Судя по этому, основное влияние терригенной составляющей в донных отложениях сохраняется, хотя обратная связь содержаний Al-Sr в некоторых колонках сменяется на прямую. Очевидно, в составе донных отложений большую роль, чем в почвах, играет органическое вещество.

Таблица 2

Средние содержания микроэлементов в почвах и донных отложениях  
(оз. Большое Яровое)

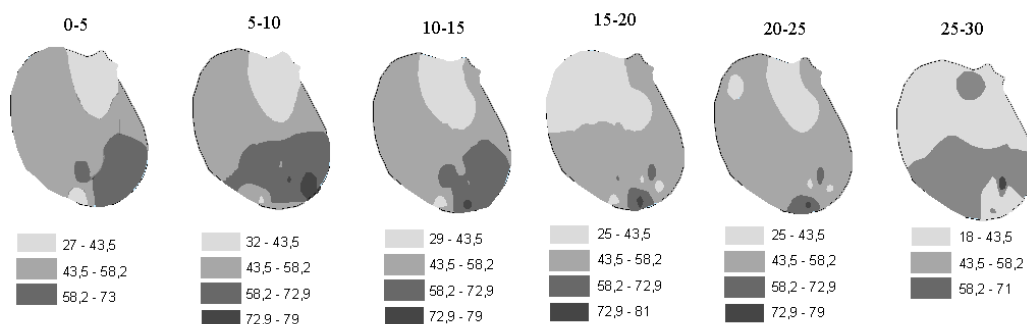
Элементы, г/т	Почвы				Донные отложения			
	Хср	Xmin	Xmax	Кол-во проб	Хср	Xmin	Xmax	Кол-во проб
Cd	0.075	0.035	0.13	75	0.09	0.05	0.15	73
Pb	12.5	8	18	75	12	9	14	73
Cu	16	11	23	75	19	9	28	73
Zn	39	11	68	75	45	30	72	73
Cr	41	26	54	75	54	21	79	73
Ni	23	13	39	75	27	16	39	73
Co	7	4.0	12.2	75	7.4	3	12.2	73
Li	19	14	28	59	22	10	33	73
V	46	33	69	59	54	24	77	73
Hg	0.046	0.014	0.180	75	0.10	0.010	0.250	73
U	1.7	1.2	2.8	75	1.7	0.8	2.4	73
Th	4.4	2.8	7.0	75	5.6	3.2	8.1	73

Примечание: Xmin и Xmax – данные по средним содержаниям в конкретных разрезах

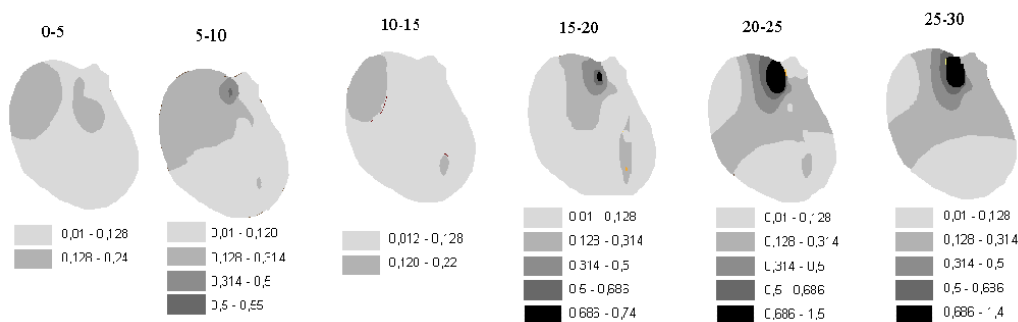
В целом, выявлена сильная корреляционная связь Fe, V, Al, Th, с Cr, Ni, Co ( $r > 0.9$ ), с Cu и Zn ( $r > 0.7$ ); Co коррелирует с Pb, Zn и Cu ( $r$  от 0.74 до 0.80). В почвах установлена корреляция Cd с U и Th ( $r$  0.76 и 0.74), в донных отложениях эта связь ослабевает и наблюдается корреляция Cd с Zn, Sb и Li ( $r > 0.7$ ). Hg в почвах коррелирует с Al, V, K, а отрицательная корреляция установлена со Sr, Ca, Mg; в донных отложениях ее достоверных связей не выявлено. Видимо, это связано с поступлением Hg в основном из техногенного источника.

Важным следствием такой тенденции распределения элементов в конкретных разрезах и колонках являются большей частью близкие средние значения отношений в почвах и донных отложениях. Наиболее показательными примерами этого могут служить средние значения отношений: Cd/Hg (2.1 и 2.3), Zn/Cu (2.6 и 2.5), Ni/Co (3.2 и 4.0), Mg/Li (479 и 475), Cu/Co (2.4 и 2.5), Pb/Co (1.9 и 1.9), Cd/Th (0.018 и 0.017), Cr/Ni (2.1 и 2.0), Fe/Cr (422 и 409), K/Hg (4.8 и 4.0) и др. Повышение значений отношения Mn/Zn, Mn/Fe в некоторых слоях донных отложений выявляет наличие марганцевых скоплений. Таким образом, наиболее надежным для сопоставления состава терригенных пород водосбора и донных отложений в озерной системе оз. Большое Яровое является использование отношений элементов.

При построении изолинейных карт распределения элементов в почвах и донных отложениях использовались ГИС ArcMap 9.3 в сочетании с модулем Geostatistical Analyst. Выявлены локальные зоны повышенных содержаний Sr, Ni, Cr, Zn, Pb, Cd и Hg на площади озера (рис. 1). В значительной степени такие зоны имеют природное происхождение. Зоны повышенных содержаний Cr, Pb, Cd и Hg, находящиеся в районе сброса сточных вод химкомбината и г. Яровое, скорее всего, обусловлены антропогенным влиянием. Локальное пятно ртутного загрязнения находится на глубине 20-30 см.



**Вертикальное распределение цинка в донном осадке оз. Большое Яровое**



**Вертикальное распределение ртути в донном осадке оз. Большое Яровое**

**Рис. 1. Примеры вертикального распределения микроэлементов в разрезах донного осадка озера Большое Яровое.**

Таким образом, изучение геохимических особенностей почв и донных осадков озера Большое Яровое показало, что наиболее надежным критерием сопоставления их составов, и прежде всего в системах с карбонатным засолением, является использование отношений элементов.

Представленные результаты дают наиболее общую картину распределения элементов в геосистеме озера Большое Яровое. Для изучения процессов, приводящих к формированию сложномозаичного почвенного покрова и его влияния на состав донных отложений, необходимо привлечь детальный анализ поведения элементов в конкретных типовых разрезах почв и колонках донных отложений.

### Литература

- Леонова Г.А., Бобров В.А., Богуш А.А. и др. Геохимическая характеристика современного состояния соляных озер Алтайского края // *Геохимия*. 2007. №10. С. 1114-1128.
- Маликова И.Н., Страховенко В.Д., Устинов М.Т. и др. Микроэлементы в почвах водосбора озера Большое Яровое и его донных отложениях (Алтайский край). // *Тяжелые металлы в окружающей среде. Материалы VI междунар. научно-практич. конф.*, Семей. 2010, т. II, с. 123-128
- Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. – М.: Изд. АН СССР. 1962, т. I. – 212 с.
- Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. – М.: Изд. АН СССР. 1962, т. III. – 550 с.
- Страховенко В.Д., Маликова И.Н. Сравнительный анализ элементного и минерального состава донных отложений малых континентальных озер Сибири. // *Доклады 3-й междунар. конф.*, Владимир, 23-25 сентября 2010г. /под ред. И.А. Карловича: Владимир, ВГГУ, 2010, С 287-289
- Темерев С.В., Галаков В.П., Эйрих А.Н., Серых Т.Г. Особенности формирования химического состава снегового стока в бессточной области Обь-Иртышского междуречья. // *Химия в интересах устойчивого развития*, 2002. т. 10. №4. С.485-496
- Устинов М.Т. Катенография и эколого-мелиоративная оценка почвенного покрова методом трансект-катен. // *Сибирский экологический журнал*. 2001. №3. С. 285-292.