

УДК 551.510

Результаты комплексного экологического исследования проб воды и воздуха прибрежной территории горько-соленых озер Алтайского края летом 2011 г.

А.С. Сафатов¹, Г.А. Буряк¹, С.Е. Олькин¹, И.К. Резникова¹, Ю.В. Марченко¹,
Б.М. Десятков¹, Н.А. Лаптева¹, И.С. Андреева¹, А.С. Козлов²,
С.Б. Малышкин², И.А. Суторихин³, В.И. Букатый³, С.А. Литвиненко³,
Б.С. Смоляков⁴, М.П. Шинкоренко^{4*}

¹ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор», 633159, п. Кольцово, Новосибирская область

²Институт химической кинетики и горения СО РАН
630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 3

³Институт водных и экологических проблем СО РАН
656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1

⁴Институт неорганической химии СО РАН
630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 3

Поступила в редакцию 10.02.2012 г.

Проведено комплексное экологическое исследование проб воды и воздуха прибрежной территории горько-соленых озер Алтайского края летом 2011 г. Впервые продемонстрирована эмиссия аэрозоля этими озерами. Выявлена связь состава аэрозоля с характеристиками геохимической специфики минерализованного рассола (рапы) и биологических компонентов исследуемых озер. Проведено математическое моделирование эмиссии почвой и водой озер аэрозоля и его распространения в приземном слое атмосферы.

Ключевые слова: атмосферные аэрозоли, биоаэрозоли, эмиссия аэрозолей, аэрозоли солей; atmospheric aerosols, bioaerosols, aerosol emissions, salt aerosol.

Введение

Соленые озера — уникальные экологические системы. В литературе представлены результаты изучения химического и биологического состава воды таких озер (см., например, [1–5]), приведены оценки поступления в озеро из газовой фазы и аэрозоля [6, 7] некоторых химических соединений. В работе [8] показана эмиссия такими озерами в приземный слой атмосферы ряда химических соединений в газовой фазе, однако суммарная эмиссия аэрозоля с поверхности горько-соленых озер Алтайского края ранее не оценивалась.

Для пресных озер, даже для таких больших, как Байкал, химический и биологический состав атмосферного аэрозоля тесно связан с составом поверхностного микрослоя его воды [7]. Не ясно, атмосферный аэрозоль определяет загрязненность озерной воды или загрязнения воды переходят в аэрозоль в районе озера [7], поэтому невозможно вычленивать из всего аэрозоля ту его часть, которая обусловлена именно эмиссией озера. Для соленых озер естественно ожидать, что состав аэрозоля, вышедшего с поверхности таких озер, заметно отличается от состава континентального аэрозоля. Поэтому, вероятно, изучая состав аэрозоля в районе соленых озер и состав воды озера, можно обнаружить эмиссию аэрозоля именно поверхностью озера.

Цель настоящей работы заключалась в оценке величин эмиссии аэрозолей поверхностью горько-соленых бессточных озер Западной части Алтайского края. Поскольку эмиссия аэрозолей с поверхности озер ранее не изучена, исследования ограничили одним экспериментом летом 2011 г. при умеренном ветре (когда величины эмиссии аэрозоля с поверхности озер ожидалось значительно большими, нежели в осенне-весенний период), который должен был показать возможность выявления эмиссии аэрозоля с поверхности озера на фоне существующего «аэрозольного фона» в районе исследуемых озер.

* Александр Сергеевич Сафатов (safatov@vector.nsc.ru); Галина Алексеевна Буряк (buryak@vector.nsc.ru); Сергей Евгеньевич Олькин (olkin@vector.nsc.ru); Ирина Константиновна Резникова (reznikova@vector.nsc.ru); Юрий Васильевич Марченко (marchenko@vector.nsc.ru); Борис Михайлович Десятков (dbm@vector.nsc.ru); Наталья Александровна Лаптева (lapteva@vector.nsc.ru); Ирина Сергеевна Андреева (andreeva_is@vector.nsc.ru); Александр Сергеевич Козлов (kozlov@kinetics.nsc.ru); Сергей Борисович Малышкин (msb@ngs.ru); Игорь Анатольевич Суторихин (sia@iwer.asu.ru); Владимир Иванович Букатый (v.bukaty@mail.ru); Светлана Александровна Литвиненко (gsa@iwer.asu.ru); Борис Сергеевич Смоляков (ecol@niic.nsc.ru); Марина Петровна Шинкоренко (shink@niic.nsc.ru).

Материалы и методы

Отбор проб аэрозоля

Летом 2011 г. комплексной экспедицией ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор», ИХКиГ СО РАН и ИВЭП СО РАН проведены полевые работы по оценке эмиссии аэрозолей горько-солеными озерами Алтайского края –

Большим Яровым (Славгородский район, площадь зеркала озера 53 км²) и Кучукским (Благовещенский район, площадь зеркала озера 181 км²). В районе каждого из озер была развернута сеть пробоотбора (одна точка с наветренной стороны и четыре с подветренной, рис. 1 и 2) и осуществлен одно-временный отбор проб во всех точках.



Рис. 1. Расстановка точек пробоотбора на оз. Кучукское

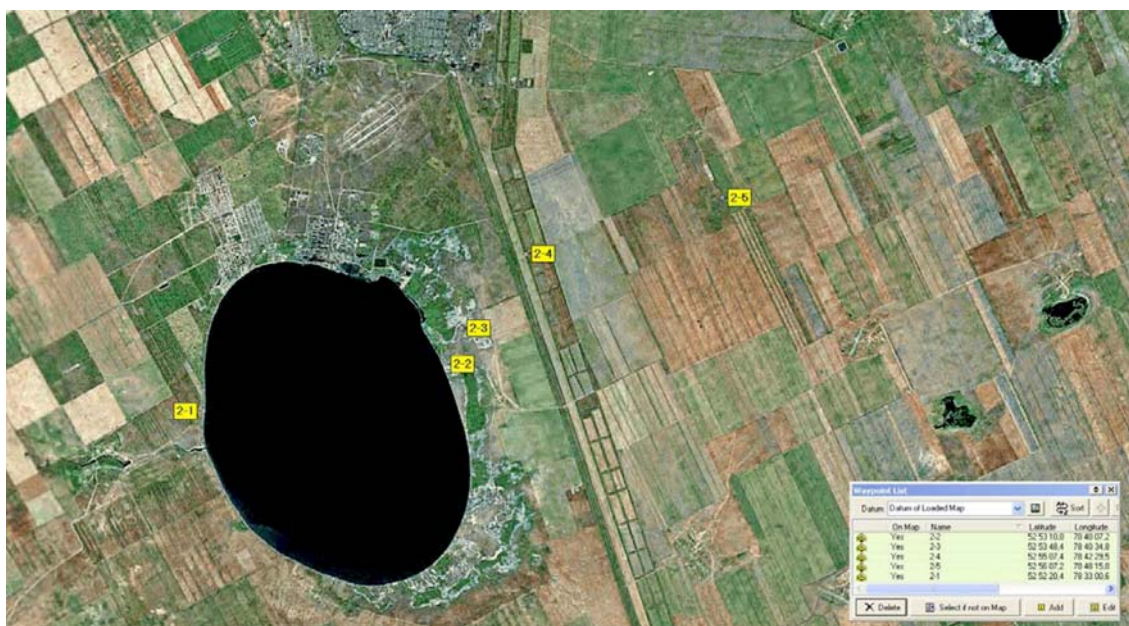


Рис. 2. Расстановка точек пробоотбора на оз. Большое Яровое

Кроме того, одновременно измерялись концентрации паров ртути прибором ДОГ-5 в населенных пунктах района проведения исследований.

Анализ концентрации и дисперсного состава аэрозоля

В ближайшей к озеру точке с подветренной стороны располагался комплекс измерения концентрации и дисперсного состава аэрозолей. В состав комплекса входили диффузионный спектрометр аэрозолей ДСА [9] (производства ИХКГ СО РАН) и фотоэлектрический счетчик аэрозолей «Grimm 1.109» (Grimm Aerosol Technik GmbH, Германия).

Анализ отобранных проб

Отобранные пробы аэрозоля, как и пробы рапы из озер, исследовались на присутствие суммарного белка, жизнеспособных микроорганизмов и ионный состав.

Для определения концентрации суммарного белка в пробах использовали флуориметрический метод, основанный на приобретении белком интенсивной флуоресценции после его модификации флуорогенным реактивом. В качестве модифицирующих реагентов использовали 3–4-карбоксивензил-хинолин-2-карбоксивальдегид (СВQСА) – реагент, образующий при взаимодействии с белками флуоресцирующие производные с более высоким квантовым выходом, чем у других красителей [10]. Белки определяли в присутствии липидов, детергентов, поверхностно активных веществ. Предел обнаружения суммарного белка на спектрофлуориметре Shimadzu RF-520 с использованием СВQСА составлял 0,0005 мкг/мл концентрированного образца, ошибка определения его концентрации не превышала 20%. Поскольку в области флуоресценции суммарного белка лежит полоса флуоресценции полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), из измеренных значений суммарной флуоресценции вычитали величину, отнесенную к ПАУ, определяющуюся независимо [11].

Концентрацию жизнеспособных микроорганизмов определяли стандартными методами. Пробы высевали на чашки Петри, содержащие агаризованные питательные среды: РПА [12] – для выявления сапрофитных бактерий; обедненную среду РПА (разбавление 1:10) – для выделения микроорганизмов, угнетаемых избытком органики; крахмало-аммиачную среду (КАА) [13, 14] – для выявления актиномицетов; почвенный агар – для почвенных микроорганизмов (ПА); среду Сабуро [15] – для выявления низших грибов и дрожжей. Ростовые свойства бактерий при повышенной концентрации соли определяли при выращивании микроорганизмов на среде, содержащей рыбно-пептонный агар (РПА), с повышенной концентрацией NaCl. Наличие роста колоний косвенно свидетельствовало об устойчивости бактерий к высушиванию. Также проводили выращивание микроорганизмов на среде, содержащей РПА с повышенным значением pH. Рост микроорганизмов при повышенных значениях

pH свидетельствовал об их устойчивости в щелочной среде. Инкубировали высевы в термостате при температуре 28–30 °С в течение 3–20 сут.

Морфологические особенности обнаруженных бактерий исследовали визуально и с помощью световой микроскопии. Для этого готовили фиксированные препараты клеток, окрашенных по Граму, и прижизненные препараты клеточных суспензий, наблюдаемые методом фазового контраста. Таксономическую принадлежность выявленных микроорганизмов определяли согласно [12, 13, 16, 17].

Расчет числа жизнеспособных микроорганизмов в пробах, выражаемый в десятичных логарифмах числа колониеобразующих единиц (КОЕ), проводили по стандартным методикам [18], при этом количество микроорганизмов усредняли по 3–4 параллелям рассеянных на 4–5 различных средах проб. С учетом величины отбираемых для анализа объемов проб атмосферного воздуха минимальный порог обнаружения концентрации жизнеспособных микроорганизмов составлял 28 КОЕ/м³. Погрешность определения концентрации микроорганизмов для описанных выше условий культивирования составляла ±0,2lg величины [18].

Для определения ионного состава анализируемую пробу делили на две части. В одной из них методом высокоэффективной жидкостной хроматографии определяли концентрации ионов NH₄⁺, Na⁺, K⁺, F⁻ + HCOO⁻, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻. В другой части пробы измеряли pH и удельную электропроводность (УЭП). Затем методом кондуктометрического титрования определяли концентрацию суммы ионов Ca²⁺ и Mg²⁺, а также концентрацию ионов HCO₃⁻ [19].

Оценка величин эмиссии аэрозолей

По измеренным значениям концентрации для каждого вещества решалась обратная задача – вычислялся поток этого вещества с поверхности суши и с поверхности воды. Для этого использовалась разработанная ранее математическая модель распространения аэрозолей в приземном слое атмосферы, реализованная в виде пакета прикладных программ [20–22]. Необходимые для расчетов метеорологические данные были взяты на сайте Air Resources Laboratory: <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>. По этим данным во время проведения отбора проб на оз. Кучукское 13 июля 2011 г. фиксировались следующие метеоусловия: ветер 11 м/с, угол 33,7 град, температура воздуха 19,2 °С, облачность 5 баллов; на оз. Большое Яровое 14 июля 2011 г. – ветер 5 м/с, угол 22,5 град (WSW), температура воздуха 21,5 °С, облачность 5 баллов.

Результаты и обсуждение

Массовая концентрация аэрозоля оценивалась по счетному распределению аэрозоля по размеру со средней плотностью частиц 2 г/см³. Концентрация и дисперсный состав исследуемого аэрозоля во время измерений на оз. Большое Яровое слабо изменялись во времени (рис. 3) и составляли в среднем (13,23 ± 4,06) мкг/м³. При этом регламентируемые

[23] в настоящее время в России величины PM_{10} и $PM_{2,5}$ (суммарные концентрации частиц, чьи диаметры не превосходят 10 и 2,5 мкм) составляли соответственно $(12,58 \pm 1,96)$ и $(6,99 \pm 0,78)$ мкг/м³. Массовая концентрация аэрозоля во время измерений на оз. Кучукское была значительно выше (из-за поднятой ветром пыли). Она заметно уменьшилась

к концу проведения измерений (рис. 3) в пределах с 200–500 до 6–10 мкг/м³ и составила в среднем $(157,11 \pm 180,64)$ мкг/м³. О присутствии в воздухе большого количества крупных частиц свидетельствуют средние за время проведения измерений величины PM_{10} и $PM_{2,5}$, которые составляли соответственно $(27,77 \pm 24,26)$ и $(4,22 \pm 2,51)$ мкг/м³.

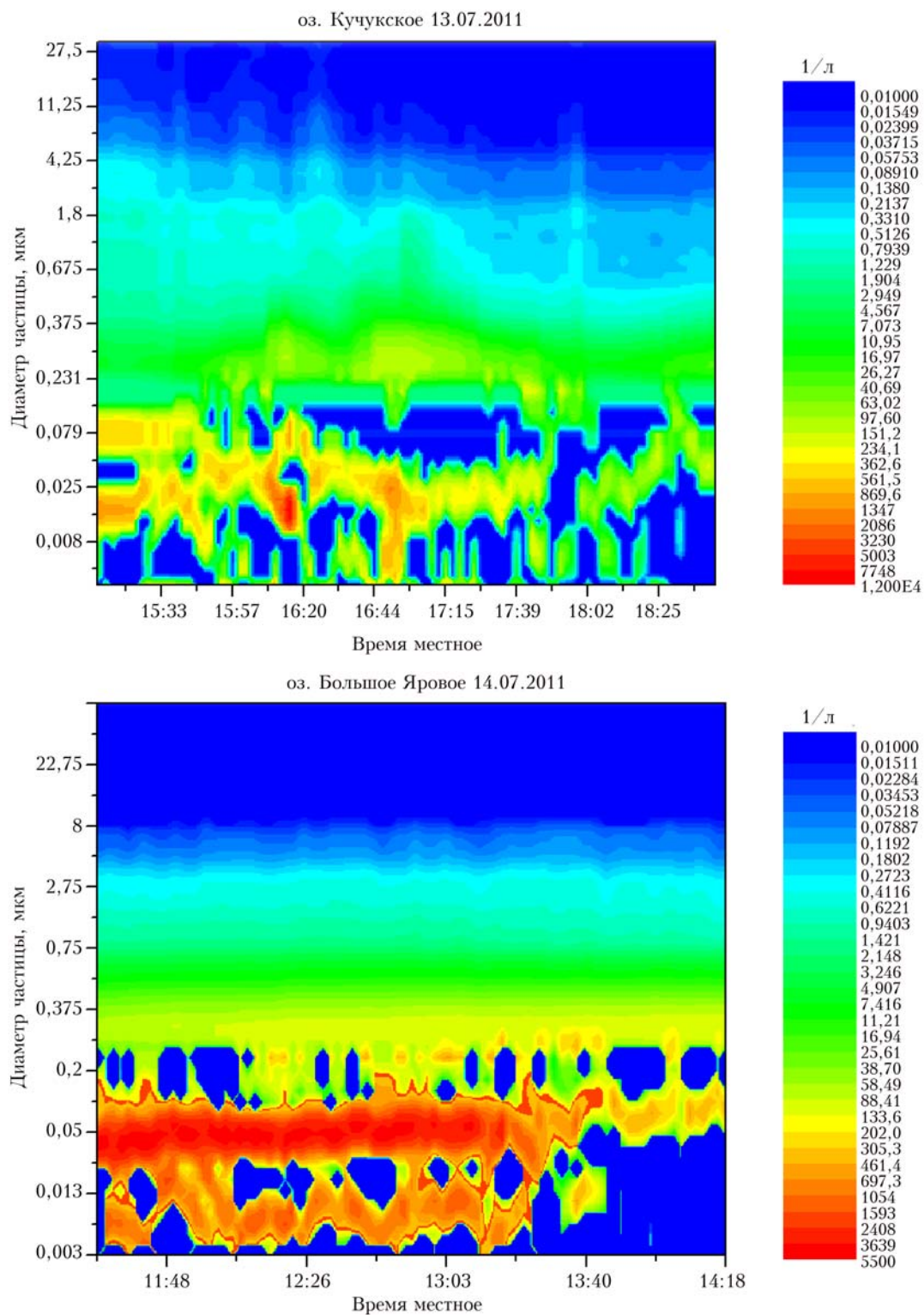


Рис. 3. Изменение дисперсного состава аэрозоля во время отбора проб

В некоторых точках отбора проб в районе озер во время проведения экспедиции зафиксировано значительное содержание паров ртути в воздухе, приближающееся к среднесуточному значению ПДК в воздухе населенных мест [23] (табл. 1). Этот результат находится в соответствии с данными работы [24], где показано влияние техногенного фактора (комбинат «Алтайхимпром», г. Яровое) на указанные территории.

Таблица 1

Концентрация паров ртути в ряде населенных пунктов Алтайского края по данным экспедиционных работ лета 2011 г.

Населенный пункт. Место измерений	Район Алтайского края	Концентрация, нг/м ³
с. Мамонтово	Мамонтовский	10
п. Каяушка	Родинский	155
Теплый ключ район	Славгородский	175
«Алтайхимпрома»	Славгородский	214
п. Куатовка	Славгородский	257
	Справочно: ПДК [22]	300

Результаты анализа ионного состава проб аэрозоля (табл. 2) показывают, что с наветренной стороны Кучукского озера в аэрозоле повышена концентрация ионов Na⁺, SO₄²⁻ и Cl⁻, а в районе Большого Ярового озера – Na⁺ и Cl⁻.

Как следует из табл. 2, типичная зависимость концентрации различных веществ в аэрозоле имеет следующий вид: с наветренной стороны наблюдаются рост концентрации вещества в воздухе, прохождение максимума и постепенное падение этой концентрации до уровня, определенного для подветренной стороны. Это свидетельствует о значительной эмиссии аэрозоля поверхностью озер. Вместе с тем

в некоторых точках (например, точка 1-2) зафиксировано экстремально высокое значение концентраций Na⁺, SO₄²⁻ и Cl⁻, что, по мнению авторов, обусловлено попаданием на фильтр пробоотборника гигантской аэрозольной частицы, обогащенной веществами озерной рапы. Совпадение перечня основных веществ, содержащихся в рапе обследованных озер, с составом аэрозольных частиц в воздухе с подветренной стороны (табл. 2 и 3) свидетельствует о том, что наблюдаемый в районе оз. Кучукское аэрозоль имеет предшественником озерную рапу. Для оз. Большое Яровое, содержащего меньшие концентрации солей, нежели оз. Кучукское, эта связь выражена в меньшей степени.

Результаты математического моделирования эмиссии аэрозоля изучаемыми озерами позволили определить мощности потоков различных веществ с поверхности озер (табл. 4, 5).

Эти показатели рассчитывались исходя из минимизации суммарных отклонений рассчитанных величин концентраций суммарного белка в воздухе от экспериментально измеренных значений. Считая, что эмиссия аэрозоля с поверхности однородна как по площади озер, так и по компонентному составу аэрозоля, исходя из «опорных значений» по суммарному белку, можно рассчитать соответствующие величины и для других веществ (табл. 4, 5). Совпадение рассчитанных и измеренных значений концентраций в воздухе в районе оз. Большое Яровое можно считать удовлетворительным, за исключением значений концентраций Na⁺ и Cl⁻ в точке 2-3 (см. рис. 2). Совпадение рассчитанных и измеренных значений концентрации в районе оз. Кучукское также можно считать удовлетворительным, за исключением значений концентрации ΣCa²⁺ + Mg²⁺, K⁺, F⁻ и SO₄²⁻ в точке 1-3 (см. рис. 1), Cl⁻ и H⁺ в точке 1-4 и H⁺ в точке 1-5 (см. рис. 1).

Таблица 2

Данные по ионному составу проб аэрозоля, взятых в районе соленых озер Алтайского края, концентрации ионов и суммарного белка в мкг/м³. Обозначения точек пробоотбора приведены на рис. 1 и 2

Точка отбора пробы	УЭП, См/м	pH	NH ₄ ⁺	ΣCa ²⁺ + Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺	HCO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Суммарный белок
1-1	2,74	4,48	н/о	1,81	6,25	2,31	0,04	1,87	0,48	0,77	0,72	2,80	0,85
1-2	48,9	4,81	н/о	12,8	227	12,6	0,02	4,59	1,41	160	2,13	53,4	0,53
1-3	4,31	4,83	н/о	1,98	11,2	2,09	0,02	3,11	0,39	4,91	0,70	3,79	1,02
1-4	31,7	5,06	н/о	2,15	129	18,0	0,01	5,76	1,09	2,44	0,78	150	0,72
1-5	14,0	5,22	н/о	1,70	35,5	3,48	0,01	5,32	0,59	1,78	0,95	46,5	1,71
2-1	3,18	4,65	н/о	2,20	4,80	1,28	0,02	2,79	0,53	0,70	0,84	3,63	0,72
2-2	10,7	4,60	н/о	3,61	24,0	2,52	0,03	1,93	0,38	20,7	1,23	4,83	0,78
2-3	2,75	4,45	н/о	1,61	3,18	0,82	0,04	3,90	0,62	1,41	0,71	2,51	0,94
2-4	2,84	4,79	н/о	1,25	3,79	1,07	0,02	2,61	0,54	1,14	0,68	2,52	1,15
2-5	2,69	4,71	н/о	1,37	3,03	1,03	0,02	2,10	0,58	0,87	1,13	3,08	1,00

* Предел обнаружения для ионов NH₄⁺ – 0,05 мкг/м³.

Таблица 3

Данные по ионному составу проб рапы соленых озер Алтайского края, г/л

Проба из озера	УЭП, См/м	pH	ΣCa ²⁺ + Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Суммарный белок
Кучукское	8,11	7,27	6,26	60,7	10,2	0,61	133,7	21,2	49,0
Большое Яровое	7,04	7,56	6,36	31,9	6,59	0,34	64,0	3,89	31,8

Таблица 4

Рассчитанные и измеренные значения концентрации химических элементов и белка в районе оз. Большое Яровое

Вещество	Потоки		Номер точки														
	τ_c	τ_b	2-1			2-2			2-3			2-4			2-5		
			C_a	C_p	$\delta, \%$	C_a	C_p	$\delta, \%$	C_a	C_p	$\delta, \%$	C_a	C_p	$\delta, \%$	C_a	C_p	$\delta, \%$
Суммарный белок	0,06	2,00	0,72	0,83	15,17	0,78	0,95	21,9	0,94	0,89	-6,0	1,15	0,84	-27,2	0,99	0,83	-16,5
$\Sigma Ca^{2+} + Mg^{2+}$	0,14	7,50	2,20	1,93	-12,05	3,61	2,84	-21,4	1,61	2,30	42,6	1,25	1,96	57,2	1,37	1,95	42,0
Na^+	0,34	40,00	4,80	4,70	-2,11	24,00	11,73	-51,1	3,18	7,33	130,7	3,79	4,87	28,4	3,03	4,73	56,0
K^+	0,08	5,20	1,28	1,10	-13,63	2,52	1,82	-27,6	0,82	1,39	69,0	1,07	1,13	5,3	1,03	1,11	7,9
H^+	0,002	0,08	0,02	0,02	10,56	0,03	0,03	0,9	0,04	0,02	-36,3	0,02	0,02	12,1	0,02	0,02	11,2
HCO_3^-	0,19	3,93	2,79	2,63	-5,89	1,93	2,46	27,6	3,90	2,61	-33,0	2,61	2,64	1,1	2,10	2,64	25,7
F^-	0,04	0,77	0,53	0,52	-0,91	0,38	0,49	28,6	0,62	0,52	-15,9	0,54	0,53	-2,2	0,58	0,53	-8,9
Cl^-	0,05	60,00	0,70	0,73	4,64	20,70	13,77	-33,5	1,41	5,48	288,9	1,14	0,99	-12,9	0,87	0,74	-15,0
NO_3^-	0,06	3,00	0,84	0,84	0,36	1,23	1,18	-4,3	0,71	0,98	37,9	0,68	0,85	25,7	1,13	0,85	-25,0
SO_4^{2-}	0,24	9,30	3,63	3,32	-8,63	4,83	4,07	-15,7	2,51	3,65	45,4	2,52	3,35	33,1	3,08	3,33	8,3

Примечание. τ_c , τ_b – задаваемые потоки вещества с поверхности суши и воды; C_a , C_p – экспериментальные (измеренные) и рассчитанные значения концентрации вещества; δ – относительная ошибка (жирным шрифтом выделены большие значения относительной ошибки, выходящей за пределы обычной невязки расчетов). Значения потока в $мкг/(м^2 \cdot с)$, значения концентрации в $мкг/м^3$.

Таблица 5

Рассчитанные и измеренные значения концентрации химических элементов и белка в районе оз. Кучукское

Вещество	Потоки		Номер точки														
	τ_c	τ_b	1-1			1-2			1-3			1-4			1-5		
			C_a	C_p	$\delta, \%$	C_a	C_p	$\delta, \%$	C_a	C_p	$\delta, \%$	C_a	C_p	$\delta, \%$	C_a	C_p	$\delta, \%$
Суммарный белок	0,06	1,20	0,85	0,98	15,4	0,53	0,59	11,9	1,02	0,89	-12,8	0,72	0,94	31,3	1,71	1,01	-40,8
$\Sigma Ca^{2+} + Mg^{2+}$	0,10	28,70	1,81	1,72	-5,1	12,80	11,43	-10,7	1,98	5,34	169,8	2,15	4,64	116,0	1,70	2,42	42,2
Na^+	0,38	50,00	6,25	6,21	-0,6	227,00	20,33	-91,0	11,20	11,66	4,1	129,00	10,75	-91,7	35,50	7,44	-79,0
K^+	0,14	44,00	2,31	2,29	-0,9	12,60	17,47	38,7	2,09	7,94	279,9	18,00	6,84	-62,0	3,48	3,36	-3,3
H^+	0,002	0,03	0,04	0,04	2,2	0,02	0,02	-14,7	0,02	0,03	70,6	0,01	0,04	271,3	0,01	0,04	316,5
HCO_3^-	0,11	11,00	1,87	1,88	0,5	4,59	4,54	-1,1	3,11	2,94	-5,5	5,76	2,79	-51,6	5,32	2,15	-59,6
F^-	0,03	6,00	0,48	0,49	2,2	1,41	1,63	15,3	0,39	0,93	137,9	1,09	0,85	-21,6	0,59	0,59	-0,2
Cl^-	0,05	31,00	0,77	0,78	0,9	160,00	12,20	-92,4	4,91	4,98	1,5	2,44	4,13	69,1	1,78	1,53	-13,9
NO_3^-	0,04	6,00	0,72	0,72	-0,1	2,13	2,44	14,4	0,7	1,38	97,2	0,78	1,27	62,6	0,95	0,87	-8,8
SO_4^{2-}	0,17	133,00	2,80	2,86	2,2	53,40	52,29	-2,1	3,79	21,04	455,1	150,00	17,32	-88,5	46,50	6,10	-86,0

Примечание. То же, что к табл. 4.

Таким образом, даже предварительные оценки, полученные на небольшом массиве экспериментальных данных, показывают, что эмиссия аэрозоля с единицы поверхности этих водоемов значительно превосходит эмиссию с единицы поверхности суши в районе проведения измерений. Соответственно, основной вклад в загрязнения воздуха в районе этих озер вносят сами озера. Учитывая, что насыщенная различными солями рапа обоих озер не замерзает даже при $-18 \text{ }^\circ\text{C}$, загрязнения воздуха аэрозолями с их поверхности продолжают, помимо, и в зимний период.

Далее следует остановиться на описании жизнеспособных микроорганизмов, обнаруженных в пробах аэрозоля, взятых в точках 2 у каждого из озер и в воде этих озер. Для выявления жизнеспособных микроорганизмов пробы рапы или их разведения высевали на агаризованные среды РПА pH 7,0, РПА pH 9,0, РПА с концентрацией NaCl 5%; агаризованный LB, разбавленный дистиллированной водой (1:10), – для выявления сапрофитных бактерий; крахмало-аммиачный агар – для выделения

актиномицетов; почвенный агар – для культивирования почвенных микроорганизмов, среда Сабура – для обнаружения низших грибов и дрожжей. Плесневые грибы выделяли как при поверхностном, так и при глубинном высевах. Морфологические характеристики выросших микроорганизмов изучали визуально и с помощью световой микроскопии, включая метод фазового контраста. Морфологические и биохимические признаки микроорганизмов, наличие факторов патогенности определяли согласно [12, 15].

Для обнаружения патогенных микроорганизмов использовали среды Эндо и Плоскирева, висмут-сульфитный агар, среду для энтерококков и РПА с 10% NaCl [12]. Устойчивость к антибиотикам изучали с помощью аппликации дисков с антибиотиками производства НИЦФ (Санкт-Петербург, Россия) на поверхность питательного агара, засеянного испытуемым микроорганизмом.

Результаты исследований показали, что количество выросших колоний существенным образом зависит от pH среды: при нормальном значении pH (= 7,0) бактерии не растут и только в одной из

исследованных проб обнаружено небольшое количество грибов (предел обнаружения составляет примерно 100 микроорганизмов в 1 м³ воздуха). При рН = 9,0 количество выросших микроорганизмов значительно вырастает. Значение их концентраций, рассчитанное для 1 м³ воздуха, приведено в табл. 6.

Таблица 6

Численность микроорганизмов в образцах аэрозолей воздуха, взятого у поверхности оз. Большое Яровое и Кучукское

Озеро	рН среды	Вариант высева	КОЕ/м ³	
			бактерий	грибов
Большое Яровое	7,0	поверхностный	0	0
	9,0	глубинный	17800	4300
Кучукское	7,0	поверхностный	0	500
	9,0	глубинный	7300	1170

Для воды из озер ситуация аналогичная: наибольшая их численность была обнаружена на питательном агаре с рН = 9,0. Колонии, выросшие на питательных средах, были представлены большим количеством неспороносных и спорообразующих бактерий. Грибы были выделены в единичных количествах, дрожжи не обнаружены. Следует отметить, что на среде Сабура с рН = 5,4 кроме колоний плесневых грибов выросло большое количество мельчайших неидентифицированных бактериальных колоний (табл. 7).

Всего были выделены и охарактеризованы морфологически 152 чистые культуры (табл. 8), однако многие из них при последующем пересеве на аналогичную среду культивировать не удалось.

Соотношение неспороносных и спорообразующих бактерий было сходно с литературными данными, имеющимися для микробиоты соленых содовых озер. Наблюдалось большое количество пигментированных микроорганизмов, что также характерно для микробного населения озер исследуемого типа. Среди выделенных штаммов многие обладали высокоактивными внеклеточными щелочными амилазами, что обуславливает способность к утилизации

растительных остатков. Бактерии, формирующие ослизненные колонии, могут быть интересны в качестве источников полисахаридов.

Таблица 7

Общая численность жизнеспособных микроорганизмов при высеве образцов рапы оз. Большое Яровое (образцы 1–4) и Кучукское (образцы 5–7)

Образец	Питательные среды / КОЕ/мл						
	РПА рН 7,0	РПА рН 9,0	РПА 5% NaCl	РПА:10 рН 7,0	КАА рН 7,0	ПА рН 7,0	Сабу-ро рН 5,4
1	1500	15000	0	10	4500	Газон мелк.	4 +7000 бакт.
2	50	4000	0	0	1500	1500	6+2000 бакт.
3	40	6000	0	0	1500	1500	1+2000 бакт.
4	620	5000	(3 гри-ба)	0	20	1000	0+2000 бакт.
5	4500	7000	30	20	3000	3000	4+5000 бакт.
6	460	10000	0	20	3000	3000	4+3500 бакт.
7	750	40	40	10	2800	1500	1

Примечание. На агаризованные среды высевали по 0,1 мл на чашку, в двух повторностях, за исключением среды Сабура (1 мл на чашку).

В результате высевов образцов рапы оз. Большое Яровое и Кучукское на селективные питательные среды для патогенов (Эндо, Плоскирева, висмут-сульфитный, солевой агар, питательную среду для энтеробактера) выделены 32 культуры (табл. 9).

Дальнейшее их исследование и тестирование косвенными методами на наличие признаков патогенности не подтвердили их принадлежности к искомым родам, таким как *Salmonella*, *Shigella*, *Staphylococcus*, *Enterobacter* и некоторым другим. Все штаммы, выделенные на упомянутых селективных средах, не являются патогенами.

Таблица 8

Количество микробных изолятов, выделенное из исследуемых образцов рапы (распределение по морфотипам)

Озеро	Неспороносные бактерии	Спорообразующие бактерии	Кокки	Актиномицеты	Дрожжи	Грибы
Большое Яровое	35	26	5	1	0	19
Кучукское	42	14	20	7	0	22

Таблица 9

Количество штаммов, выделенное из исследуемых образцов рапы (распределение по морфотипам) на различных средах

Образец из озера	Неспороносные бактерии	Спорообразующие бактерии	Кокки	Актиномицеты	Дрожжи	Грибы
Большое Яровое	7 (среда Эндо, среда Плоскирева, висмут-сульфитный агар)	1 (среда для выделения энтерококков)	2 (среда Эндо)	1 (среда Эндо)	0	0
Кучукское	13 (среда Эндо, среда Плоскирева, висмут-сульфитный агар)	3 (среда Плоскирева, среда Эндо)	4 (среда Плоскирева)	0	1 (среда Эндо)	0

Заключение

Исходя из представленных результатов, можно сделать вывод, что впервые экспериментально подтверждена эмиссия аэрозоля в летний период двумя горько-солеными озерами Алтайского края. Промонстрирована связь состава обнаруживаемого в районе этих озер аэрозоля с характеристиками геохимической специфики минерализованного рассола (рапы) и биологических компонентов исследуемых озер. На основе математического моделирования эмиссии почвой и водой озер аэрозоля и его распространения в приземном слое атмосферы региона в зафиксированных во время отбора проб метеорологических условиях показано, что мощность эмиссии аэрозоля с единицы поверхности исследованных озер значительно превосходит таковую с окружающей их суши. Суммарная мощность может быть довольно большой: так, например, эмиссия ионов Na^+ озером Кучукское оценивается примерно в 70 г/с. Высокие мощности эмиссии характерны не только для контролируемых химических элементов, ионов, но и для биологических компонентов аэрозоля.

Более детально изменчивость характеристик аэрозоля в зависимости от внешних условий, а также более надежные связи состава аэрозольных частиц и рапы озер можно будет установить в дальнейших систематических исследованиях.

1. *Леонова Г.А.* Оценка современного экологического состояния озер Алтайского края по биогеохимическим критериям // Исследовано в России. URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2005/091.pdf>
2. *Намсараев Б.Б., Абидуева Е.Ю., Лаврентьева Е.В., Банзаракцаева Т.Г., Бархутова Д.Д., Буянтуева Л.Б.* Экология микроорганизмов экстремальных водных систем: Уч. пособие. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского гос. ун-та, 2008. 94 с.
3. *Кашнер Д.* Жизнь микроорганизмов при высоких концентрациях солей и растворенных веществ: галофильные бактерии // Жизнь микробов в экстремальных условиях / Под ред. Д. Кашнера. М.: Мир, 1981. С. 365–425.
4. *Намсараев З.Б., Банзаракцаева Т.Г., Дашина Б.Б., Намсараев Б.Б.* Динамика гидрохимических показателей щелочного соленого озера Хилганта // Вестн. Бурятского гос. ун-та. 2009. № 3. С. 7–11.
5. *Заварзин Г.А.* Эпиконтинентальные содовые водоемы как предполагаемые реликтовые биотопы формирования наземной биоты // Микробиология. 1993. Т. 62, № 5. С. 789–800.
6. *Hervas A., Casamayor E.O.* High similarity between bacterioneuston and airborne bacterial community compositions in a highmountain lake area // FEMS Microbiol. Ecol. 2009. V. 67, N 2. P. 219–228.
7. *Сергеев А.Н., Сафатов А.С., Агафонов А.П., Андреева И.С., Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Буряк Г.А., Генералов В.М., Захарова Ю.Р., Лаптева Н.А., Олькин С.Е., Панченко М.В., Парфенова В.В., Резникова И.К., Симоненков Д.В., Теплякова Т.В., Терновой В.А.* Сравнение присутствия химических и биологических маркеров в поверхностном микрослое воды акваторий курортных зон озера Байкал и в атмосферном аэрозоле этого региона // Оптика атмосф. и океана. 2009. Т. 22, № 6. С. 585–594.
8. *Weissflog L., Elansky N., Putz E., Krueger G., Lange C.A., Lisitsina L., Pfenningdorff A.* Trichloroacetic acid in the vegetation of polluted and remote areas of both hemispheres – Part II: salt lakes as novel sources of natural chlorohydrocarbons // Atmos. Environ. 2004. V. 38, N 25. P. 4197–4202.
9. *Ankilov A., Baklanov A., Colhoun M., Enderle K.-H., Gras J., Julianov Yu., Kaller D., Lindner A., Lushnikov A., Mavliev R., McGovern F., O'Connor T.C., Podzimek J., Preining O., Reischl G.P., Rudolf R., Sem G.J., Szymanski W.W., Vrtala A.E., Wagner P.E., Winklmayr W., Zagaynov V.* Particle size dependent response of aerosol counters // Atmos. Res. 2002. V. 62, N 3–4. P. 209–237.
10. *You W.W., Haugland R.P., Ryan D.K., Haugland R.P.* 3-(4-Carboxybenzoyl)quinoline-2-carboxaldehyde, a reagent with broad dynamic range for the assay of proteins and lipoproteins in solution // Annal. Biochem. 1997. V. 244, N 2. P. 277–282.
11. *Определение полициклических ароматических углеводородов (метод высокоэффективной жидкостной хроматографии).* Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186-89. М.: Государственный комитет СССР по гидрометеорологии, Министерство здравоохранения СССР, 1991. С. 647–657.
12. *Миллер Дж.* Эксперименты в молекулярной генетике. М.: Мир, 1976. 435 с.
13. *Методы общей бактериологии* / Под ред. Ф. Герхарда, Р. Мюррэя, Р. Костилоу, Ю. Нестера, В. Вуда, Н. Крига, Г. Филлипса. М.: Мир, 1983. Т. 1. 536 с.; Т. 3. 263 с.
14. *Методы экспериментальной микологии.* Киев: Наук. думка, 1982. 550 с.
15. *Сэги Е.* Методы почвенной микробиологии. М.: Колос, 1983. 295 с.
16. *Лебедева М.Н.* Руководство к практическим занятиям по медицинской микробиологии. М.: Медицина, 1973. 312 с.
17. *The Prokaryotes. A Handbook on Habitats, Isolation, and Identification of Bacteria* / Eds. M.P. Starr, H. Stolp, H.G. Truper, A. Balows, H.G. Schlegel. Berlin; Heidelberg; New York, Tokyo: Springer-Verlag, 1981. 2596 p.
18. *Ашмарин И.П., Воробьев А.А.* Статистические методы в микробиологических исследованиях. Л.: Гос. изд. мед. лит., 1962. 180 с.
19. *Шинкоренко М.П., Смоляков Б.С.* Влияние метеорологической обстановки на ионный состав атмосферных аэрозолей и осадков в Западной Сибири // Химия в интересах устойчивого развития. 2004. Т. 12, № 5. С. 651–660.
20. *Десятков Б.М., Сарманаев С.Р., Бородулин А.И.* Численно-аналитическая модель переноса аэрозолей в термически стратифицированном пограничном слое атмосферы // Оптика атмосф. и океана. 1996. Т. 9, № 6. С. 815–820.
21. *Бородулин А.И., Десятков Б.М.* Моделирование распространения примесей в пограничном слое атмосферы. Новосибирск: НГУ, 2007. 376 с.
22. *Бородулин А.И., Десятков Б.М., Ярыгин А.А.* Модель распространения атмосферных примесей в пограничном слое атмосферы. Программа для ЭВМ. 2006.

Зарегистрирована Федеральным Институтом промышленной собственности РОСПАТЕНТа. Рег. номер 2007610293. 16 января 2007 г.

23. *Гигиенические* нормативы. ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Вве-

ден в действие 25.06.2003. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901865554> (дата обращения 12.12.2011).

24. *Леонова Г.А., Бобров В.А., Богуш А.А., Бычинский В.А., Аношин Г.Н.* Геохимическая характеристика современного состояния соляных озер Алтайского края // *Геохимия*. 2007. № 10. С. 1114–1128.

A.S. Safatov, G.A. Buryak, S.E. Olkin, I.K. Reznikova, Yu.V. Marchenko, B.M. Desyatkov, N.A. Lapteva, I.S. Andreeva, A.S. Kozlov, S.B. Malyshkin, I.A. Sutorikhin, V.I. Bukatyi, S.A. Litvinenko, B.S. Smolyakov, M.P. Shinkorenko. **Results of the complex ecological study of water and near-shore air of bitter-salty lakes of Altai region in summer of 2011.**

The complex ecological study of water and near shore air samples of bitter-salty lakes territory of Altai region in the summer of 2011 was conducted. The emission of aerosols by these lakes was demonstrated for the first time. The connections of aerosol composition in the lakes region with characteristics of geochemical specificity of mineralized brine and biological components of the lakes studied were shown. Mathematical simulation of aerosol emission by the lakes and surrounding soil and its transportation in the region boundary layer has been conducted.