

Сравнение присутствия химических и биологических маркеров в поверхностном микрослое воды акваторий курортных зон оз. Байкал и в атмосферном аэрозоле этого региона

А.Н. Сергеев¹, А.С. Сафатов¹, А.П. Агафонов¹, И.С. Андреева¹,
М.Ю. Аршинов², Б.Д. Белан², Г.А. Буряк¹, В.М. Генералов¹, Ю.Р. Захарова³,
Н.А. Лаптева¹, С.Е. Олькин¹, М.В. Панченко², В.В. Парфенова³,
И.К. Резникова¹, Д.В. Симоненков², Т.В. Теплякова¹, В.А. Терновой^{1*}

¹ФГУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора
630559, п. Кольцово, Новосибирская область

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

³Лимнологический институт СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3

Поступила в редакцию 10.02.2009 г.

Проведен поиск химического или биологического маркера аэрозоля, источником которого является поверхностный микрослой (ПМС) воды акваторий курортных зон оз. Байкал. Экспериментально исследовались концентрации Ca, Mg, Na, K, Cu, Zn, Fe, Mn, Al, Ba, Pb, Cd, As, нафталина, аценафтена, аценафтилена, флуорена, фенантрена, антрацена, флуорантена, пирена, бенз(а)антрацена, перилена, бенз(в)флуорантена, бенз(а)пирена, 1,2,5,6-дибензантрацена, бенз(ghi)перилена и суммарного белка в аэрозолях и пробах воды региона. Установлена прямая тесная взаимосвязь между концентрациями всех химических элементов в пробах аэрозоля и воды. Наибольшие концентрации отмечены для Ca, Mg, Na и K. Методом полимеразной цепной реакции установлена аналогичная взаимосвязь генетического материала микроорганизмов (бактериопланктона), обнаруженных в воде и аэрозоле. Полностью адекватного маркера, отражающего присутствие аэрозоля, источником которого является ПМС воды оз. Байкал, установить не удалось.

Ключевые слова: атмосферный аэрозоль, химические и биологические маркеры, поверхностный микрослой воды, Байкал.

Введение

Качество атмосферного воздуха определяется отсутствием в нем вредных газовых и аэрозольных примесей. Если для газовых загрязнений методы оценки качества воздуха, опирающиеся на гигиенические критерии, разработаны достаточно детально, то для аэрозольных загрязнений ситуация менее

определенная. Дело в том, что, во-первых, аэрозоли имеют различные природные и антропогенные источники и, следовательно, различный компонентный и химический состав. При этом в атмосфере одновременно присутствуют аэрозоли из совершенно разных источников. Во-вторых, аэрозоли в атмосфере — образование нестабильное. Под действием изменяющейся температуры, влажности, радиации в аэрозолях происходят различные физические и химические процессы. Они приводят к появлению новых компонент, химических соединений, изменению дисперсного состава и концентрации частиц. В-третьих, аэрозоли даже из одного источника часто являются многокомпонентными системами, каждая из которых несет разнообразные токсиканты, различающиеся по степени биодоступности для организма человека.

Одни и те же концентрации токсикантов в аэрозоле могут вызывать различные реакции человека на них. Степень и характер реакции человека в ответ на воздействие токсикантов существенно снижаются после уменьшения выбросов источниками, дающими основной вклад в формирование аэрозольных загрязнений региона. Для оценки вклада

* Александр Николаевич Сергеев (serg@vector.nsc.ru); Сафатов Александр Сергеевич (safatov@vector.nsc.ru); Александр Петрович Агафонов (agafonov@vector.nsc.ru); Ирина Сергеевна Андреева (andreeva@vector.nsc.ru); Михаил Юрьевич Аршинов (michael@iao.ru); Борис Денисович Белан (bbd@iao.ru); Галина Алексеевна Буряк (buruak@vector.nsc.ru); Владимир Михайлович Генералов (general@vector.nsc.ru); Юлия Робертовна Захарова (zakharova@lin.irk.ru); Наталья Александровна Лаптева (clapteva@vector.nsc.ru); Сергей Евгеньевич Олькин (olkin@vector.nsc.ru); Михаил Васильевич Панченко (pmv@iao.ru); Валентина Владимировна Парфенова (parf@lin.irk.ru); Ирина Константиновна Резникова (reznikova@vector.nsc.ru); Денис Валентинович Симоненков (simon@iao.ru); Тамара Владимировна Теплякова (teplyakova@vector.nsc.ru); Владимир Александрович Терновой (tern@vector.nsc.ru).

аэрозоля от конкретного источника в наблюдаемые концентрации токсикантов необходимо, чтобы по каким-либо маркерам можно было оценить долю аэрозоля в его общем составе именно от этого источника.

Для Байкальского региона, как и любого другого объекта, источниками аэрозоля являются локальные и удаленные источники. Элементный состав атмосферного аэрозоля, происхождение которого связано с различными природными источниками, отражает именно их элементный состав (земной коры, почвы, морской или пресной воды, растительности, антропогенных выбросов). Таким образом, атмосферные аэрозоли вблизи мощного источника несут в себе ярко выраженный «отпечаток» химического состава самого источника [1–3]. В этих аэрозолях присутствуют элементы, которые в наибольших долях присутствуют в химическом составе мощного источника [4–7], поэтому сравнение загрязнений атмосферного аэрозоля с загрязнениями, присутствующими в различных источниках, позволяет в принципе выявлять эти источники.

Основное внимание в настоящей статье будет уделено водным источникам, среди которых самый мощный – поверхность озера.

Наиболее информативным методом определения источника «чистого» атмосферного аэрозоля и, следовательно, выявления различных загрязнений этого аэрозоля является анализ его элементного состава [8]. Если основные, наиболее часто встречающиеся элементы и в аэрозоле, и в самом источнике представлены в практически неизменных соотношениях, то другие элементы варьируют в значительной степени [8].

В воде наряду с неорганическими соединениями присутствует широкий спектр органических соединений, а также различные микроорганизмы,

в том числе бактериопланктон. Присутствие в аэрозоле генетического материала микроорганизмов может являться маркером биоценоза, характерного для данного места. Однако наиболее характерным маркером любого биологического присутствия является наличие белка. Это обстоятельство позволяет использовать концентрацию суммарного белка в образце тоже как интегральный показатель присутствия микроорганизмов.

Настоящая статья посвящена выявлению и сравнению химических и биологических маркеров в поверхностном микрослое воды акваторий курортных зон оз. Байкал и в атмосферном аэрозоле этого региона, которые служили бы индикатором аэрозоля именно водного происхождения.

Материалы и методы

Отбор проб осуществляли на территории трех курортных зон оз. Байкал: в районах п. Листвянка, п. Сахюрта, Бухта Песчаная. Все эксперименты строили по единой схеме. Три точки пробоотбора располагались на берегу у кромки воды на расстоянии примерно 100 м друг от друга. Четвертая точка находилась с наветренной стороны на расстоянии не менее 700 м от центральной береговой точки на борту научно-исследовательского судна «Герман Титов». Координаты центральных точек определяли с помощью GPS-навигатора: п. Листвянка – 51°50'31,2" с.ш., 104°52'42,6" в.д.; п. Сахюрта – 53°01'03,7" с.ш., 106°53'14,9" в.д.; Бухта Песчаная – 52°15'41,8 с.ш., 105°42'23,7 в.д. Кроме того, над акваторией озера осуществляли забор проб воздуха с борта самолета АН 30Д (летающей лаборатории «Оптик-Э» [9–11]). Характеристики маршрута полетов (высот, времени и временных интервалов) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Периоды и маршруты отбора проб атмосферного аэрозоля над районом и акваторией оз. Байкал

Дата	Время (GMT)	Проба	Высота, м (над у.м.)	Маршрут
25.07.2008	1:26–2:20	Бха 1–2	4500	Братск – истоки р. Лена
	2:26–2:36	Бха 3–4	600	м. Рытый – м. Елохин
	2:38–2:50	Бха 5–6	600	м. Бол. Черемшанный – м. Котельниковский
	2:52–3:09	Бха 7–8	600	м. Котельниковский – Нижнеангарск – о. Ярки
	3:10–3:15	Бха 9–10	600	устье Верх. Ангары – п. Ханусы
	3:16–3:26	Бха 11–12	800	п. Ханусы – м. Погони
	3:32–3:47	Бха 13–14	950	галсы в 100 км от Нижнеангарска на юг
	3:53–4:06	Бха 15–16	950	галсы в 150 км от Нижнеангарска на юг
	4:08–4:18	Бха 17–18	1200	галсы в районе п-ва Святой Нос
	4:25–4:39	Бха 19–20	1200	галсы напротив о. Ольхон
	4:41–4:53	Бха 21–22	1200	вдоль о. Ольхон на север до м. Рытый
	5:11–5:46	Бха 23–24	4800	истоки р. Лена – Братск
	28.07.2008	0:44–1:18	Бха 25–26	4500
1:20–1:35		Бха 27–28	4500	Верхолениск – истоки р. Лена
1:43–2:06		Бха 29–30	600	м. Рытый на юг до м. Крестовский
2:08–2:25		Бха 31–32	600	м. Крестовский – Бол. Голоустное
2:31–2:49		Бха 33–34	600	галс на п. Боярский, траверз–проход устья Селенги до пп. Новый Энхэлук, Сухая
2:51–3:04		Бха 35–36	800	галсы: п. Сухая – прол. Ольхонские ворота – м. Тонкий
3:08–3:26		Бха 41–42	800	галсы: м. Тонкий – м. Ухан – Гремячинск – м. Ижимей
3:28–3:39		Бха 43–44	800	вдоль о. Ольхон до м. Рытый
3:52–4:14		Бха 45–46	4800	истоки р. Лена – Верхолениск
4:16–5:03		Бха 47–48	5400	Верхолениск – Братск

В центральной береговой точке устанавливали: – фотоэлектрический счетчик аэрозольных частиц «Solair 3100+» для определения концентрации и дисперсного состава атмосферного аэрозоля в области свыше 0,3–25 мкм;

– пятиступенчатый импактор БП-35/25-4 (г. Кириши) для определения массового распределения аэрозольных частиц по размерам в диапазоне 0,5–100 мкм и выявления присутствия токсикантов в различных размерных фракциях (в нем отбор проб осуществляли на фильтры АФА-ХА-20, обеспечивающие осаждение свыше 99,99% частиц в диапазоне размеров 10 нм–100 мкм);

– три автономных пробоотборника ПВР-50 (побудитель вакуума ротационный) с объемным расходом 50 л/мин (в них отбор проб осуществляли на фильтры АФА-ХА-20) с целью анализа концентрации суммарного белка, полициклических ароматических углеводородов, элементного состава, наличия ДНК генетического материала бактериопланктона;

– термогигрометр «ИВА-6А» для измерения температуры и относительной влажности воздуха;

– термоанемометр «ТКА-ПКМ»/50 для измерения скорости ветра.

На судне также были размещены три аналогичных автономных пробоотборника ПВР-50. Кроме того, с борта судна батометрами осуществляли отбор проб воды из поверхностного микрослоя (ПМС) глубиной до 200 и до 1000 мкм. Основой батометра являлась латунная сетка, натянутая на металлическую хромированную рамку. Сетку изготавливали из проволоки диаметром 0,2 мм. Методика отбора подробно описана в [12, 13]. Для каждого уровня отбирали по 30 мл пленки воды и использовали их для проведения биологического и элементного анализа, определения концентрации суммарного белка и полициклических ароматических углеводородов.

С борта самолета АН-30Д проводили забор проб воздуха на фильтры типа АФА-ХА-20 [9–11] для биологического и элементного анализа, определения суммарного белка и полициклических ароматических углеводородов с целью учета массопереноса примесей из воды озера и примесей, поступающих на территорию курортной зоны из других регионов.

Концентрацию химических элементов (Ca, Mg, Na, K, Cu, Zn, Fe, Mn, Al, Ba, Pb, Cd и As) в пробах определяли атомно-абсорбционным методом с использованием прибора фирмы «Shimadzu» модель AA-6300 с пламенным и электротермическими атомизаторами.

Суммарный белок в пробах находили флуоресцентным методом с использованием реагента по методике [14] и спектрофлуориметра «Shimadzu RF-520». Чувствительность метода составляла 0,01 мкг/мл с относительной погрешностью анализа менее 20%. Флуоресценция суммарного белка и некоторых полициклических ароматических углеводородов находится в одном диапазоне длин волн. С целью учета системной ошибки измерения из величины суммарной флуоресценции вычитали значе-

ние, отнесенное к полициклическим ароматическим углеводородам и определявшееся независимо [15].

Концентрацию полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в пробах атмосферного воздуха и поверхностного микрослоя воды определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [15] с использованием жидкостной хроматографа «Spectra Physics SP8800» с флуоресцентным детектором «Shimadzu RF-530» и спектрофотометрическим детектором «Spectra 100».

Генетический материал гетеротрофного бактериопланктона в пробах находили с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР). Для проведения ПЦР в качестве мишени для подбора праймеров использовали нуклеотидную последовательность гена 16S РНК. Применение уникальных специфических праймеров, состоящих из 22–25 нуклеотидов, позволяет добиться высокой специфичности и чувствительности метода (менее 10 микроорганизмов по фрагментам их РНК или ДНК) [16]. Для этого анализировали нуклеотидные последовательности этого гена, присутствующего в различных штаммах α -, β - и γ -протеобактерий, имеющих в базе данных GenBank.

Для выявления консервативных районов в гене 16S РНК применяли праймеры, подробно описанные в [17]. Окончательно нуклеотидные последовательности праймеров выбирали с помощью программы OLIGO с учетом новых данных по последовательностям протеобактерий, появившимся в последние годы. Праймеры F27 и R1387 были синтезированы в отделе химии природных соединений ГНЦ ВБ «Вектор». Доказательством наличия в исследуемых образцах генетического материала протеобактерий служило обнаружение в агарозном геле флуоресцирующей в присутствии бромистого этидия полосы, соответствующей длине ампликона в 1360 парах нуклеотидов. Эту же пару праймеров впоследствии использовали для дальнейшей идентификации обнаруженного микроорганизма секвенированием амплификационных фрагментов.

Образцы воды объемом 10 мл пропускали через нитроцеллюлозные фильтры с диаметром пор 0,22 мкм (Millipore, США). Далее фильтры измельчали и помещали в пробирки, в которые вносили лизирующий буфер, приготовленный на основе 6 М гуанидинтиоизоцианата. Лизирующий раствор содержал: 18 г гуанидинтиоизоцианата (6 М), 95 мг дитиотрейтола (0,2 М) и 1 мл ЭДТА (0,5 М), рН = 8,0. Фильтры с пробами аэрозоля обрабатывали аналогично. Периодически содержимое пробирок осторожно встряхивали в течение 30 мин. Суммарный нуклеотидный материал, включающий геномную ДНК и РНК, выделяли из лизирующего буфера с помощью набора «Литех» (Россия) согласно прилагаемой к набору инструкции. Далее проводили либо ОТ-ПЦР, либо ПЦР, используя в качестве матрицы соответственно рибосомную РНК и геномную ДНК. ПЦР проводили в буфере, используя в качестве компонентов, за исключением праймеров, продукты производства «Сиб-Энзим» (Россия) по программе:

94 °С – 4 мин, один цикл,

94 °С – 60 с, 50 °С – 40 с, 72 °С – 40 с, 30 циклов,

72 °С – 7 мин, один цикл.

Продукты ОТ-ПЦР или ПЦР анализировали в 1%-м агарозном геле.

Определение *нуклеотидной последовательности* выделенных фрагментов геномов «чистых линий» бактерий проводили по модифицированной методике, описанной в [18], на автоматическом секвенаторе Applied Biosystems 3130xl «Hitachi» с использованием набора AB1 Prism Big Dye Terminator V3.1 Cycle. В качестве матрицы при проведении секвенирующих реакций использовали очищенные ампликоны, соответствующие индивидуальным организмам. Выравнивание проводили с помощью программы AS [19].

Филогенетический анализ осуществляли с помощью программного обеспечения MEGA3 (методом NJ Neighbor-Joining) [20].

Выделение и культивирование бактерий проводили следующим образом. После отбора проб ПМС производили глубинный посев по 1 мл воды и в разведениях 1:10, 1:100. Органотрофные бактерии культивировали на рыбо-пептонном агаре, разбавленном в 10 раз (РПА:10) при комнатной температуре, психротолерантные – при температуре 4 °С на среде R₂A фирмы «Becton Dickinson» (USA), г/л: дрожжевой экстракт – 0,5 г, пептон – 0,5 г, казеиновые кислоты – 0,5 г, декстроза – 0,5 г, растворимый крахмал – 0,5 г, пируват натрия – 0,3 г, гидрофосфат калия – 0,3 г, сульфат магния – 0,05 г, агар – 15 г. После проведенного подсчета всех выросших колоний изолировали различные штаммы бактерий методом истощающего штриха.

Для подсчета *общей численности бактерий* пробы фиксировали глутаральдегидом, который добавляли до конечной концентрации 1%. Микроорганизмы в пробе ПМС воды (20 мл) окрашивали флуорохромным красителем ДАФИ (4,6-диамино-2-фенилиндола) до концентрации 0,5 мкг/мл, пропускали через фильтры «Nuclepore» (PC) с диаметром пор 0,2 мкм и просматривали в эпифлуоресцентном микроскопе «Olympus» (Япония). Подсчет клеток осуществляли с помощью программного комплекса, разработанного НТИ ЛИН СО РАН (авт. свидетельство № 2005610667).

Результаты и обсуждение

Данные мониторинга *гидрометеорологической и гидрохимической информации* во время проведения отбора проб атмосферного воздуха и поверхностного микрослоя воды на оз. Байкал приведены в табл. 2.

Концентрацию и дисперсный состав аэрозоля определяли по методам, описанным выше. Анализ данных для фракции аэрозольных частиц диаметром более 0,3 мкм (табл. 3) показал, что в воздухе курортных зон оз. Байкал практически отсутствуют частицы диаметром более 10 мкм и основная масса частиц сосредоточена в диапазоне менее 1 мкм. Суммарная масса частиц в воздухе курортных зон оз. Байкал мала. В п. Сахюрта и Бухте Песчаной массовая концентрация аэрозоля не превосходит 3,5 мкг/м³, а в п. Листвянка – 1,5 мкг/м³, что более чем в 10 раз меньше обычно фиксируемых концентраций атмосферного аэрозоля [21, 22].

Таблица 2

Средние значения* гидрометеорологических параметров, измеренных во время проведения отбора проб атмосферного воздуха и поверхностного микрослоя воды на оз. Байкал

Место отбора проб	Относительная влажность, %	Температура воздуха, °С	Среднее направление ветра	Скорость ветра, м/с	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Температура воды, °С	Температура воздуха над поверхностью воды, °С
Листвянка	57 ± 4	14,8 ± 0,7	Ю.-З.	2,8 ± 1,0	720	15	13
Сахюрта	57 ± 3	14,4 ± 1,5	С.	1,3 ± 0,4	718	14,5	16
Бухта Песчаная	51 ± 5	14,0 ± 1,7	С.-З.	4,9 ± 1,1	712	12	11

* ± – среднеквадратическое отклонение от среднего в тех столбцах, где эти отклонения вычислялись.

Таблица 3

Характеристики аэрозольных частиц в атмосферном воздухе различных участков оз. Байкал

Место и время отбора проб	D ₅₀ , мкм	σ _g	Концентрация аэрозоля, частиц/см ³	Концентрация аэрозоля, мкг/м ³
п. Листвянка, 22.08.2008 16:48–20:00	0,3*	1,3*	8–13	1,5*
п. Сахюрта, 23.08.2008 07:55–10:57	0,3*	1,3*	38–67	2,5*
Бухта Песчаная, 24.08.2008 06:37–09:39	0,3*	1,3*	32–40	3,2*
Высотные пробы (600–1000 м), 25 и 28 июля 2008	0,6	2,0–2,9	5–13	0,01–0,12

* Оценка характеристики при учете частиц диаметром менее 0,3 мкм.

Вследствие того что массовые концентрации аэрозоля в атмосферном воздухе курортных зон оказались малы, с помощью каскадного импактора не удалось количественно определить массовое распределение аэрозольных частиц по размерам.

Показано, что курортные зоны оз. Байкал являются довольно чистыми. В частности, как следует из табл. 3, в воздухе прибрежных зон в период исследования концентрация аэрозоля, как правило, не превышала нескольких десятков частиц (см^3). При этом, поскольку основное количество частиц находится в диапазоне оптических диаметров 0,3–0,5 мкм, суммарная масса аэрозоля практически не превышала 3 мкг/ м^3 .

Данные по содержанию различных химических элементов в пробах, отобранных в районе курортных зон оз. Байкал, приведены в табл. 4–6. В последней строке табл. 4, 5 приведены значения 0,01 ПДК воздуха рабочей зоны, взятые из нормативной документации ГН 2.2.5.1313-03. Определение проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [15].

В аэрозольных частицах выявлено присутствие некоторых химических элементов, которые являются наиболее значимыми для отнесения включающих их аэрозольных частиц к тому или иному типу источников [1–3]. Анализ данных табл. 4–6 показывает, что в поверхностном микрослое воды акваторий курортных зон оз. Байкал из контролируемых

химических элементов в наибольших количествах присутствуют Ca, Mg, Na и K. Другие контролируемые химические элементы присутствуют в значительно меньшем количестве. В пробах атмосферного аэрозоля, отобранных в нескольких метрах от берега, а также на высотах 600–900 м над акваторией озера, в наибольших концентрациях присутствуют Ca, Mg, Na и K. Элементы, которые представлены в меньших концентрациях в ПМС акваторий курортных зон оз. Байкал, в аэрозоле имеют концентрации ниже предела их определения. Таким образом, атмосферный аэрозоль курортных зон оз. Байкал и ПМС их акваторий имеют сходный элементный состав.

ПМС акваторий является границей раздела между водной поверхностью и атмосферой. В нем идет процесс образования аэрозолей за счет разрушения пузырьков воздуха на границе раздела атмосфера – вода [23–27]. В ПМС происходит резкое изменение физико-химических характеристик жидкости [28]. Здесь за счет массообмена с атмосферой происходит концентрирование различных находящихся в воде примесей (молекулярных и гидрозольей). Концентрирование неодинаково для разных компонентов и может достигать десятков и тысяч раз [7, 29–34]. Этот слой за счет поступления кислорода из атмосферы и большей освещенности обогащен также биологическими веществами и микроорганизмами [24, 35–37].

Таблица 4

Содержание некоторых химических элементов в пробах атмосферного воздуха над оз. Байкал (номер пробы – по табл. 1)

Номер пробы (фильтра)	Содержание элементов в атмосферном воздухе, мкг/ м^3												
	Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn	Al	Ba	Pb	Cd	As
2	0,26	0,09	0,07	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
4	0,23	0,08	0,10	0,04	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
6	0,41	0,12	0,10	0,04	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
8	0,29	0,11	0,09	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
10	0,45	0,13	0,12	0,04	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
12	0,41	0,12	0,10	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
14	0,37	0,12	0,09	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
16	0,36	0,11	0,10	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
18	0,40	0,08	0,10	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
20	0,43	0,10	0,03	0,04	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
22	0,05	0,03	0,04	0,04	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
24	0,09	0,04	0,05	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
26	0,01	0,03	0,05	0,04	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
28	0,10	0,01	0,04	0,04	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
30	0,07	0,03	0,08	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
32	0,05	0,02	0,04	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
34	0,03	0,03	0,04	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
36	0,33	0,05	0,06	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
42	0,21	0,04	0,05	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
44	0,45	0,03	0,03	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
46	0,15	0,02	0,03	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
48	0,65	0,01	0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
0,01 ПДК	10	100	2*	10	10	1*	100	10	20	15*	0,5	0,5	0,4
По данным [46]	0,55	0,35	0,4	0,2	0,25	0,15	0,55	0,8	1,1	<0,1	<0,1	н.д.	н.д.

Примечание. * – величина приведена для наиболее токсичных соединений данного металла; н.д. – нет данных.

Содержание некоторых химических элементов в пробах атмосферного воздуха, взятых в различных курортных зонах оз. Байкал

Точка взятия пробы		Содержание элементов, мкг/м ³												
		Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn	Al	Ba	Pb	Cd	As
п. Листвянка	Корабль	0,23	0,07	0,16	0,17	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
	Берег:													
	правая точка	0	0,06	0,13	0,12	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
	центр	0,22	0,06	0,14	0,12	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
	левая точка	0,65	0,07	0,27	0,21	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
п. Сахюрта	Корабль	0,24	0,08	0,17	0,15	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
	Берег:													
	правая точка	0,19	0,07	0,12	0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
	центр	0,24	0,06	0,12	0,13	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
	левая точка	0,41	0,05	0,21	0,15	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
Бухта Песчаная	Корабль	0,07	0,04	0,13	0,13	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
	Берег:													
	правая точка	0,21	0,05	0,18	0,23	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
	центр	0,21	0,04	0,44	0,45	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
	левая точка	1,02	0,11	0,20	0,40	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,05
0,01 ПДК		10	100	2*	10	10	1*	100	10	20	15*	0,5	0,5	0,4
Данные [46]		0,55	0,35	0,4	0,2	0,25	0,15	0,55	0,8	1,1	<0,1	<0,1	н.д.	н.д.

Примечание. * – величина приведена для наиболее токсичных соединений данного металла; н.д. – нет данных.

Таблица 6

Содержание некоторых химических элементов в поверхностном микрослое воды (до 1000 мкм) акваторий различных курортных зон оз. Байкал (пробы взяты на расстоянии более 700 м от берега)

Точка взятия проб	Содержание элементов, мг/л												
	Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn	Al	Ba	Pb	Cd	As
п. Листвянка	16,74	3,02	3,49	1,14	0,51	0,184	0,053	0,0002	0,02	0,017	0,29	0,0001	0,00004
п. Сахюрта	16,17	3,26	3,04	1,07	0,47	0,167	0,051	0,0001	0,02	0,018	0,26	0,0001	0,00004
Бухта Песчаная	15,43	3,10	3,12	1,05	0,41	0,155	0,045	0,0001	0,01	0,015	0,25	0,0002	0,00004
Данные [44, 45]	16	3,0	3,6	0,9	0,001	0,009	0,030–0,045	н.д.	0,08	0,010	0,0005	0,0001	н.д.*
ПДК из ГН 2.1.5.689–98	–	–	200	–	1,0	1,0	0,3	0,1	0,5	0,1	0,03	0,001	0,05

* Нет данных.

Согласно современным данным [38], ПМС составляет (50 ± 10) мкм от границы раздела с атмосферой, далее изменение физико-химических характеристик жидкости происходит более плавно и на глубине примерно 0,5 м градиенты этих характеристик становятся малы (если в водных слоях нет стратификации, обусловленной факторами, не связанными с границей раздела с атмосферой). Пузырьки воздуха, поднимаясь, обогащают свою поверхность загрязнениями, находящимися в поверхностных слоях и ПМС воды, поэтому после их разрушения образовавшийся аэрозоль также обогащен загрязнениями поверхностных слоев воды [24, 31, 32, 36, 39].

Аэрозоль атмосферного воздуха региона не создается целиком единственным, пусть даже и мощным, источником. Как правило, в его состав входят частицы различного происхождения: из земной коры, почвы, морской и пресной воды, биогенных и антропогенных источников. Для первых двух из контролируемых химических элементов в максимальных концентрациях должны присутствовать Al и Fe, для морской воды максимальны концентрации Na и Mg, для биогенных источников характер-

на повышенная концентрация K, Zn и Sr [1–4, 40–43].

В воде курортных зон оз. Байкал и аэрозолях акватории преобладают Ca, Mg, Na и K (см. табл. 4–6). Эти данные неплохо согласуются с данными [44–46] как для воды Байкала, так и для атмосферного аэрозоля этого региона. Для воды озера отличия состоят в значительно меньшей концентрации Al и увеличенных концентрациях Zn, Cu и Pb. Повышенные концентрации Zn и Cu можно объяснить их присутствием в латунной сетке батометра, а значительно повышенную концентрацию свинца в ПМС воды – его присутствием в припое, которым сетка крепилась к несущей конструкции.

Поскольку батометр использованной конструкции предназначался для отбора проб для анализа ПАУ, суммарного белка и определения присутствия генетического материала гетеротрофного бактериопланктона, завышенные значения концентраций указанных выше элементов могут не учитываться. Для атмосферного аэрозоля зафиксированы несколько меньшие концентрации контролируемых элементов и в высотных, и в наземных пробах по сравнению с представленными в [33–46].

Обобщенный анализ полученных проб позволяет сделать вывод, что во время проведения исследований и в атмосферном аэрозоле, и в воде озера преобладали одни и те же химические элементы, следовательно атмосферный аэрозоль и ПМС воды тесно связаны между собой. С одной стороны, атмосферный аэрозоль из почвенных и других источников осаждается в ПМС воды, где, растворяясь и перераспределяясь во всей толще, образует наблюдаемый элементный состав ПМС воды. С другой стороны, этот слой воды, являясь источником водного аэрозоля, «поставляет» в атмосферный аэрозоль частицы с элементным составом, близким к своему элементному составу, замыкая тем самым круговорот.

Как отмечено выше, в воде курортных зон оз. Байкал и аэрозолях акватории преобладают одни и те же элементы, поэтому однозначно определить единственный источник атмосферного аэрозоля в районе оз. Байкал нельзя. Поскольку мощность терригенного источника аэрозоля очевидно значительно выше, нежели мощность даже такого большого источника, каким является Байкал, аэрозоль водного происхождения в составе атмосферного аэрозоля в районе озера должен составлять небольшую часть, которую можно выявить с помощью *специфических биологических маркеров*.

Прежде чем перейти к анализу присутствия в исследованном аэрозоле таких маркеров, как *суммарный белок*, подчеркнем, что вода в акватории курортных зон Байкала, как и исследованный аэрозоль, практически не содержит выявляемых загрязнений полициклическими ароматическими углеводородами и тяжелыми металлами (табл. 4–7).

Таблица 7

Содержание различных полициклических ароматических углеводородов в атмосферном воздухе, взятом в районе курортных зон оз. Байкал, и ПМС воды этих зон

Химическое соединение	Содержание полиароматических соединений	
	в воздухе, мкг/м ³	в воде, мкг/л
Нафталин	< 0,0022	< 0,248
Аценафтен	< 0,0016	< 0,179
Аценафтилен	< 0,0026	< 0,294
Флуорен	< 0,0023	< 0,262
Фенантрен	< 0,0004	< 0,045
Антрацен	< 0,0023	< 0,261
Флуорантен	< 0,0010	< 0,118
Пирен	< 0,0010	< 0,114
Бенз(а)антрацен	< 0,0005	< 0,053
Перилен	< 0,0021	< 0,239
Бенз(в)флуорантен	< 0,0012	< 0,131
Бенз(а)пирен	< 0,0013	< 0,142
1,2,5,6-Дибензантрацен	< 0,0006	< 0,065
Бенз(ghi)перилен	< 0,0006	< 0,063

Во введении отмечалось, что маркером всего живого на Земле является белок. Данные по содержанию суммарного белка в пробах, отобранных в районе курортных зон озера Байкал, приведены в табл. 8–10.

Сравнение присутствия химических и биологических маркеров в поверхностном микрослое воды...

10*.

Таблица 8

Содержание суммарного белка в атмосферном воздухе, взятом над оз. Байкал (номер пробы – по табл. 1)

Номер пробы (фильтра)	Содержание белка, мкг/м ³
1	0,129
3	2,125
5	1,076
7	0,468
9	2,653
11	1,108
13	0,534
15	0,097
17	0,380
19	0,984
21	0,990
23	0,241
25	0,243
27	0,252
29	0,706
31	0,399
33	0,912
35	0,531
41	1,054
43	1,610
45	0,447
47	0,165
Фон	0

Таблица 9

Содержание суммарного белка в пробах атмосферного воздуха курортных зон оз. Байкал

Точка взятия пробы		Содержание белка, мкг/м ³
Листвянка	Корабль	0,463
	Берег:	
	правая точка	0,441
	центр	0,473
Сахюрта	Корабль	0,497
	Берег:	
	правая точка	0,154
	центр	0,309
Бухта Песчаная	Корабль	0,425
	Берег:	
	правая точка	0,232
	центр	0,451
	левая точка	0,387

Таблица 10

Содержание суммарного белка в ПМС воды (до 1000 мкм) акваторий различных курортных зон оз. Байкал (пробы взяты на расстоянии более 700 м от берега)

Точка взятия пробы	Содержание белка, мг/л
п. Листвянка	2,985
п. Сахюрта	2,093
Бухта Песчаная	2,487

Анализ проб проводили флуоресцентным методом [14] (см. выше). Его присутствие выявляется во всех пробах атмосферного воздуха в концентрациях от 0,1 до 2,65 мкг/м³; в высотных пробах

в концентрациях 0,15–0,5 мкг/м³ и в ПМС акваторий исследованных зон оз. Байкал в концентрациях 2–3 мг/л. Сравнение полученных данных показывает, что наблюдаемые концентрации суммарного белка в атмосферном аэрозоле курортных зон оз. Байкал могут быть обусловлены именно водным аэрозодем. Долгосрочный мониторинг атмосферных биоаэрозолей на юге Западной Сибири показывает, что средний многолетний уровень суммарного белка в атмосфере составляет примерно 2 мкг/м³ [47, 48]. Поскольку на юге Западной Сибири нет сравнимых с Байкалом мощных водных источников биоаэрозолей, а концентрация суммарного белка сопоставима с наблюдаемыми в Байкальском регионе, последние, как и для юга Западной Сибири, вполне могут создаваться другими, неводными, источниками.

Анализ результатов содержания различных полициклических ароматических углеводородов в пробах, отобранных в районе курортных зон оз. Байкал и приведенных в табл. 7, показал, что концентрация этих соединений не превосходит пороговую концентрацию, полученную методом анализа [15], описанным выше. Поэтому в табл. 7 приведены значения только пороговых концентраций для проб ПМС воды и атмосферного воздуха, а сами концентрации имеют меньшие значения.

Другим наиболее адекватным маркером аэрозоля из ПМС акваторий курортных зон оз. Байкал является присутствующий в нем генетический материал тех же бактерий (бактериопланктона), которые обитают в воде озера. В воде озера обитает большое разнообразие микроорганизмов, включая протеобактерии [22, 49–57], которые составляют примерно 50% общего числа бактерий. Результаты проведения ПЦР по методу, описанному выше, показывают (рис. 1–3), что в высотных пробах атмосферного воздуха, отобранных над акваторией оз. Байкал, только в 3 из 23 образцов отсутствует данный генетический маркер (рис. 1).

1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25 27 29 31 33 M 35 41 43 45 47 49 M

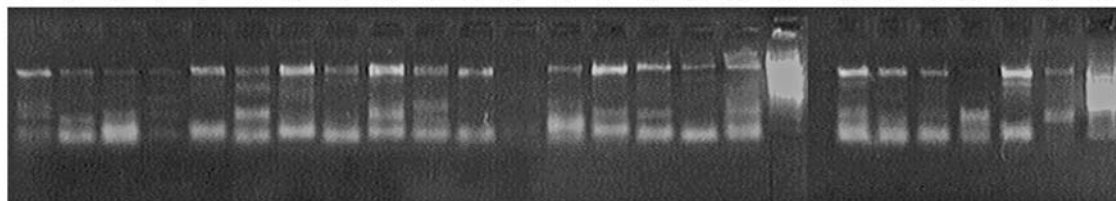


Рис. 1. Электрофорез продуктов амплификации: дорожки 1–35 и 41–47 – исследуемые образцы; 49 – фоновый образец; дорожки M – маркер длины фрагментов («Медиген», Новосибирск)

M1 K1 M2 K2 M3 K3 M

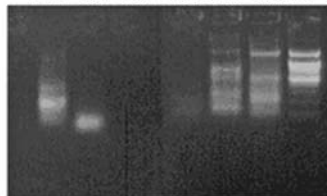


Рис. 2. Электрофорез продуктов амплификации проб воды: дорожка M – маркер длины фрагментов («Медиген», Новосибирск); другие дорожки: 1 – район п. Листвянка; 2 – район п. Сахюрта; 3 – район Бухты Песчаной. Индекс M относится к ПМС толщиной до 200 мкм, индекс K – к ПМС толщиной до 1000 мкм

Однако, как следует из рис. 2, только в двух образцах обнаружена специфическая полоса, указывающая на положительный результат ПЦР, при этом длина продукта амплификации соответствует теоретически расчетной (1360 нуклеотидов). Также только в одном из наземных образцов атмосферного воздуха (п. Листвянка), отобранных на территории курортных зон оз. Байкал, присутствует генетический материал выявляемых бактерий (рис. 3), хотя его концентрация низка.

Анализ полученных из этих же проб чистых линий бактерий методом ПЦР со случайным праймером с последующим секвенированием полученных фрагментов и их идентификацией в GeneBank показал, что среди выявленных присутствуют и другие роды бактерий, кроме тех, которые определялись с помощью синтезированных праймеров. Отсутствие генетического материала протеобактерий в некоторых пробах атмосферного воздуха и ПМС воды акваторий курортных зон оз. Байкал говорит о том, что проведенный анализ генетического материала не является исчерпывающим. Необходимо разработка метода, позволяющего выявлять генетический материал большинства присутствующих в пробах микроорганизмов.

Данные по общей численности бактерий (ОЧБ) и количеству культивируемых микроорганизмов, обнаруженных в процессе проведенного пробоотбора, представлены в табл. 11.

Таблица 11

Общая численность и количество культивируемых бактерий в поверхностном микрослое воды оз. Байкал

Точка отбора проб	Количество культивируемых бактерий, 10 ³ КОЕ/мл		ОЧБ, 10 ⁶ кл./мл
	Среда R2A	Среда РПА/10	
п. Листвянка	3,30	0,98	1,34
п. Сахюрта	1,92	0,20	0,36
Бухта Песчаная	0,23	0,22	1,07

1 2 3 K M

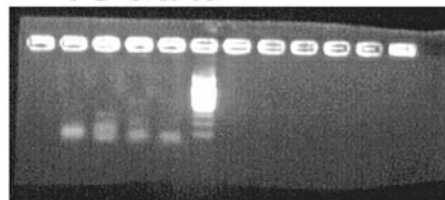


Рис. 3. Электрофорез продуктов амплификации наземных проб атмосферного воздуха: дорожки 1 – бухта Песчаная; 2 – п. Листвянка; 3 – п. Сахюрта; K – отрицательный контроль; M – маркер длины фрагментов («Медиген», Новосибирск)

Из таблицы следует, что во всех изученных пробах обнаружены жизнеспособные микроорганизмы, причем метод обнаружения микроорганизмов с использованием липотропного флуорофора ДАФИ, выявляющий как жизнеспособные, так и нежизнеспособные микроорганизмы, позволяет обнаруживать на три порядка больше частиц по сравнению с методом глубинного культивирования бактерий на питательном агаре. Концентрация жизнеспособных бактерий в воде оз. Байкал варьирует от нескольких сотен до нескольких тысяч КОЕ/мл при культивировании в средах R₂A и РПА/10.

Заключение

В настоящей статье представлены данные, полученные в летний период (июль – август) 2008 г. Поэтому сделанное заключение справедливо только для конкретных условий проведения наблюдений.

Анализ полученных результатов показывает, что практически во всех пробах аэрозолей и в ПМС воды в максимальных концентрациях присутствуют одни и те же химические элементы. Данное обстоятельство позволяет сделать вывод – атмосферный аэрозоль и ПМС воды тесно связаны между собой. Это же подтверждается и обнаруженным генетическим материалом микроорганизмов и культивируемых бактерий, обитающих в воде и в большинстве проб аэрозоля курортных зон оз. Байкал, включая высотные пробы, отобранные над акваторией озера.

В некоторых пробах аэрозоля, а также в водных пробах выявлены жизнеспособные бактерии. Ни в одной из проб в пределах чувствительности метода не обнаружено загрязнений ПАУ. Поскольку, как отмечено выше, доля аэрозоля в Байкальском регионе озерного происхождения значительно меньше таковой другого происхождения, то наиболее информативным маркером водного аэрозоля является генетический материал обитающих в воде бактерий, т.е. то, что присуще в значительной мере только воде озера. Однако даже этот маркер не является полностью информативным, отражающим присутствие аэрозоля именно водного происхождения во всем аэрозоле Байкальского региона.

Авторы выражают благодарность академику М.А. Грачеву за помощь в организации экспедиции на оз. Байкал, А.Н. Болдыреву за обсуждение статьи и ФЦП Минобрнауки РФ за частичную поддержку грантом (Госконтракт № 02.515.11.5087).

1. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 271 с.
2. Уорк К., Уорнер С. Загрязнение воздуха. Источники и контроль. М.: Мир, 1980. 640 с.
3. Химия окружающей среды / Под ред. О.М. Бокриса. М.: Химия, 1978. 672 с.
4. Алекин О.А. Основы геохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 442 с.
5. Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1976. 313 с.
6. Корж В.Д. Соотношения концентрации солей на поверхности океана и в морской атмосферной влаге // Докл. АН СССР. 1972. Т. 205. № 2. С. 332–324.

7. Петренчук О.П. Экспериментальные исследования атмосферного аэрозоля. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 264 с.
8. Донченко В.К., Ивлев Л.С. Об идентификации аэрозолей разного происхождения: Матер. 3-й Междунар. конф. «Естественные и антропогенные аэрозоли». СПб.: НИИХ СПбГУ, 2003. С. 41–51.
9. Зуев В.Е., Белан Б.Д., Кабанов Д.М., Ковалевский В.К., Лукьянов О.Ю., Мелешкин В.Е., Микушев М.К., Панченко М.В., Пеннер И.Э., Покровский Е.В., Сакерин С.М., Тертугова С.А., Толмачев Г.Н., Тумаков А.Г., Шаманаев В.С., Щербатов А.И. Самолет-лаборатория Ан-30 «Оптик-Э» для экологических исследований // Оптика атмосф. и океана. 1992. Т. 5. № 10. С. 1012–1021.
10. Белан Б.Д. Самолетное экологическое зондирование атмосферы // Оптика атмосф. и океана. 1993. Т. 6. № 2. С. 205–222.
11. Белан Б.Д., Зуев В.Е., Панченко М.В. Основные результаты самолетного зондирования аэрозоля в ИОА СО РАН (1981 – 1991 гг.) // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. № 1–2. С. 131–156.
12. Государственный стандарт РФ ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб». Принят и введен в действие постановлением Госстандарта РФ от 21 апреля 2000 г. № 117-ст.
13. Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений (временное) / Под ред. А.В. Цыбань. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 191 с.
14. 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.
15. Определение полициклических ароматических углеводородов (метод высокоэффективной жидкостной хроматографии). Руководство по контролю загрязнения атмосферы. (РД 52.04.186-89). Государственный комитет СССР по гидрометеорологии, Министерство здравоохранения СССР. М., 1991. С. 647–657.
16. Mercier B., Burlot L., Ferec C. Simultaneous screening for HBV DNA and HCV RNA genomes in blood donations using a novel TaqMan PCR assay // *J. Virol. Methods.* 1999. V. 77. N 1. P. 1–9.
17. Marchesi J.R., Sato T., Weightman A.J., Martin T.A., Fry J.C., Hiom S.J., Dymock D., Wade W.G. Design and evaluation of useful bacterium-specific PCR primers that amplify genes coding for bacterial 16S rRNA // *Appl. Environ. Microbiol.* 1998. V. 64. N 6. P. 2333–2338.
18. Diez B., Pedros-Alio C., Massana R. Study of genetic diversity of eukaryotic picoplankton in different oceanic regions by small-subunit rRNA gene cloning and sequencing // *Appl. Environ. Microbiol.* 2001. V. 67. N 7. P. 2932–2941.
19. Kumar S., Tamura K., Nei M. MEGA3: Integrated Software for Molecular Evolutionary Genetics Analysis and Sequence Alignment // *Briefings in Bioinformatics.* 2004. V. 5. N 2. P. 150–163.
20. Resenchuk S.M., Blinov V.M. ALIGNMENT SERVICE: creation and processing of alignments of sequences of unlimited length // *Comput. Appl. Biosci.* 1995. V. 11. N 1. P. 7–11.
21. Грин Х., Лейн В. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы. Л.: Химия, 1969. 428 с.
22. Friedlander S.K. Smoke, Dust, and Haze. Fundamentals of Aerosol Dynamics. 2nd Edition. N.Y.; Oxford: Oxford University Press, 2000. 407 p.

23. Blanchard D.C., Woodcock A.H. Bubble formation and modification in the sea and its meteorological significance // *Tellus*. 1957. V. 9. N 2. P. 145–158.
24. Blanchard D.C., Syzdek L. Mechanism for the water-to-air transfer and concentration of bacteria // *Science*. 1970. V. 170. N 3958. P. 626–628.
25. MacIntyre F. The top millimeter of the ocean // *Sci. Amer.* 1974. V. 230. N 5. P. 62–77.
26. Grammatika M., Zimmermann W.B. Microhydrodynamics of flotation processes in the sea surface layer // *Dyn. Atmos. and Oceans*. 2001. V. 34. N 2–4. P. 327–348.
27. Deane G.B., Stokes M.D. Scale dependence of bubble creation mechanisms in breaking waves // *Nature*. 2002. V. 418. N 6900. P. 839–844.
28. Zhang Z., Liu L., Cai W. Studies on the sea surface microlayer II. The layer of sudden change of physical and chemical properties // *J. Colloid and Interface Sci.* 2003. V. 264. N 1. P. 148–159.
29. Cincinelly A., Stortini A.M., Perugini M., Checchini L., Lepri L. Organic pollutants in sea-surface microlayer and aerosol in the coastal environment of Leghorn – (Tyrrhenean sea) // *Mar. Chem.* 2001. V. 76. N 1–2. P. 77–98.
30. Gasparovic B., Plavsic M., Cosovic B., Saliot A. Organic matter characterization in the sea surface microlayers in the subarctic Norwegian fiords region // *Mar. Chem.* 2007. V. 105. N 1–2. P. 1–14.
31. Matrai P.A., Tranvik L., Leck C., Knulst J.C. Are high Arctic surface monolayers a potential source of aerosol organic precursors? // *Mar. Chem.* 2008. V. 108. N 1–2. P. 109–122.
32. Kuznetsova M.R., Lee C., Aller J.Y. Characterization of the proteinaceous matter in marine aerosols // *Mar. Chem.* 2005. V. 96. N 3–4. P. 359–377.
33. Horne R.A. *Marine Chemistry: The Structure of water and the chemistry of the hydrosphere*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1969. 568 p.
34. Saint-Louis R., Pelletier E. Sea-to-air flux of contaminants via bursting. An experimental approach for tributyltin // *Mar. Chem.* 2004. V. 84. N 3–4. P. 211–224.
35. Perez M.T., Pausz C., Herndl G.J. Major shift in bacterioplankton utilization of enantiomeric amino acids between surface water and the ocean's interior // *Limnol. and Oceanogr.* 2003. V. 48. N 2. P. 755–763.
36. Aller J.Y., Kuznetsova M.R., Jahns C.J., Kemp P.F. The sea surface microlayer as a source of viral and bacteria enrichment in marine aerosols // *J. Aerosol Sci.* 2005. V. 36. N 5–6. P. 801–812.
37. De Souza-Lima Y., Romano J.-C. Ecological aspects of the surface microlayer. I. ATP, ADP, AMP contents, and energy charge ratios of microplanktonic communities // *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 1983. V. 70. N 2. P. 107–122.
38. Pogorzelski S.J., Kogut A.D. Structural and thermodynamic signatures of marine microlayer surfactant films // *J. Sea Res.* 2003. V. 49. N 1–4. P. 347–356.
39. Henrichs S.M., Williams P.M. Dissolved and particulate amino acids and carbohydrates in the sea surface microlayer // *Mar. Chem.* 1985. V. 17. N 2. P. 141–163.
40. Artaxo P., Hansson H.-C. Size distribution of biogenic aerosol particles from the Amazon basin // *Atmos. Environ.* 1995. V. 29. N 1. P. 393–402.
41. Artaxo P., Maenhaut W. Trace element concentrations and distribution of biogenic aerosols from the Amazon basin // *Nucl. Instrum. and Meth. Phys. Res. B*. 1990. V. 49. N 1–4. P. 366–371.
42. Artaxo P., Storms H., Bruynseels F., Van Grieken R., Maenhaut W. Composition and sources of aerosols from the Amazon basin // *J. Geophys. Res. D*. 1988. V. 93. N 2. P. 1605–1615.
43. Artaxo P., Maenhaut W., Storms H., Van Grieken R. Aerosol characteristics and sources for the Amazon basin during the wet season // *J. Geophys. Res. D*. 1990. V. 95. N 10. P. 16971–16985.
44. Ветров В.А., Кузнецова А.И. Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал. Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГТМ, 1997. 237 с.
45. Falkner K.K., Church M., Measures C.I., Le Baron G., Thouron D., Jeandel C., Stordal M.C., Gill G.A., Mortlock R., Froelich P., Chan L.-H. Minor and trace element chemistry of Lake Baikal, its tributaries and surrounding hot springs // *Limnol. and Oceanogr.* 1997. V. 42. N 2. P. 329–345.
46. *Аэрозоли Сибири* / Под ред. К.П. Куценого. Раздел 1.3.8. Исследования в Байкальском регионе. Многоэлементный состав. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. С. 95–102.
47. Borodulin A.I., Safatov A.S., Shabanov A.N., Yarygin A.A., Khutorova O.G., Belan B.D., Panchenko M.V. Physical characteristics of concentration fields of tropospheric bioaerosols in the South of Western Siberia // *J. Aerosol Sci.* 2005. V. 36. N 5–6. P. 785–800.
48. Safatov A.S., Andreeva I.S., Buryak G.A., Marchenko V.V., Marchenko Yu.V., Olkin S.E., Reznikova I.K., Repin V.E., Sergeev A.N., Penenko V.V., Tsvetova E.A., Arshinov M.Yu., Belan B.D., Panchenko M.V., Tolmachev G.N., Baklanov A.M., Koutsenogii K.P., Makarov V.I., Popova S.A. The results of 7-year monitoring of the biogenic components of atmospheric aerosol in southwestern Siberia // *Chem. Eng. Transactions*. 2006. V. 10. P. 401–406.
49. Белькова Н.Л. Таксономическое разнообразие микробного сообщества водной толщи озера Байкал: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 2004. 20 с.
50. Wu M., Song L., Ren J., Kan J. Pei-Yuan Qian Assessment of microbial dynamics in the Pearl River estuary by 16S rRNA terminal restriction fragment analysis // *Continental Shelf Research*. 2004. V. 24. N 16. P. 1925–1934.
51. Rappe M.S., Vergin K., Giovannoni S.J. Phylogenetic comparisons of a coastal bacterioplankton community with its counterparts in open ocean and freshwater systems // *FEMS Microbiol. Ecol.* 2000. V. 33. N 3. P. 219–232.
52. Agogue H., Casamayor E.O., Bourrain M., Obernosterer I., Joux F., Herndl G.J., Lebaron P. A survey on bacteria inhabiting sea surface microlayer of coastal ecosystems // *FEMS Microbiol. Ecol.* 2005. V. 54. N 2. P. 269–280.
53. Peng X., Fanxiang K., Huansheng C., Min Z. Relationship between bacterioplankton and phytoplankton community dynamics during late spring and early summer in Lake Taihu, China // *Acta Ecol. Sin.* 2007. V. 27. N 5. P. 1696–1702.
54. Kemp P.F., Aller J.Y. Bacterial diversity in aquatic and other environments: what 16S rDNA libraries can tell us // *FEMS Microbiol. Ecol.* 2004. V. 47. N 2. P. 161–177.
55. Weinbauer M.G. Ecology of prokaryotic viruses // *FEMS Microbiol. Rev.* 2004. V. 28. N 2. P. 127–181.
56. Wakeham S.G., Amann R., Freeman K.H., Hopmans E.C., Jorgensen B.B., Putman I.F., Schouten S., Sinninghe Damste J.S., Talbot H.M., Woebken D.

Microbial ecology of the stratified water column of the Black Sea as revealed by a comprehensive biomarker study // *Organic Geochem.* 2007. V. 38. N 12. P. 2070–2097.

57. *Wurl O., Obbard J.P.* A review of pollutants in the sea-surface microlayer (SML): a unique habitat for marine organisms // *Mar. Pollut. Bull.* 2004. V. 48. N 11. P. 1016–1030.

A.N. Sergeev, A.S. Safatov, A.P. Agafonov, I.S. Andreeva, M.Yu. Arshinov, B.D. Belan, G.A. Buryak, V.M. Generalov, Yu.R. Zakharova, N.A. Lapteva, S.E. Ol'kin, M.V. Panchenko, V.V. Parfenova, I.K. Reznikova, D.V. Simonenkov, T.V. Teplyakova, V.A. Ternovoi. **The comparison of the presence of chemical and biological markers in the surface microlayer of water areas of health resort zones at Lake Baikal and aerosol of this region.**

The search of the chemical and biological marker of aerosol originating from the surface microlayer (SML) of water areas of health resort zones at Lake Baikal was performed. The concentrations of Ca, Mg, Na, K, Cu, Zn, Fe, Mn, Al, Ba, Pb, Cd, As, naphthalene, acenaphthene, acenaphthylene, fluorene, phenanthrene, anthracene, fluoranthene, pyrene, benz(a)anthracene, perilene, benz(b)fluoranthene, benz(a)pyrene, 1,2,5,6-dibenz anthracene, benz(ghi)perilene, and total protein in aerosols and water samples collected in the region were experimentally studied. A direct close interrelation was revealed between the concentrations of all chemical elements in aerosol and water samples. The highest concentrations were recorded for Ca, Mg, Na and K. Polymerase chain reaction method was employed to determine a similar interrelation between genetic materials of microorganisms (bacterioplankton) found in water and aerosol. A fully adequate marker reflecting the presence of aerosol generating from SML of Lake Baikal water was not determined.