

18.6. ЛИМНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ СО РАН

(О. А. Тимошкин (пункты 1-4), М. И. Гула, А. Е. Побережная (пункт 3), Н. А. Бондаренко (пункт 5); Н. А. Рожкова, А. В. Непокрытых, Н. А. Букичук, Е. П. Зайцева (пункт 6); Л. А. Оболкина (пункт 7))

1. Все обнаруженные ранее экологические проблемы прибрежной зоны, а именно – массовое развитие спирогиры (особенно ярко выраженное в осенний период) и сине-зеленых, заболевания и гибель губок, гидрохимическое и микробиологическое загрязнение приустьевых участков рек и мелководий, расширение ареалов чужеродных видов, и т.д. (Kravtsova et al., 2014; Rozhkova et al., 2016; 2018; Timoshkin et al., 2015; 2016; 2018), в 2018 г. оставались актуальными. Во многих прибрежных районах озера спирогира «морфотип 1» (Timoshkin et al., 2018) к осени образует настоящие пояса, вытесняя аборигенные виды водорослей, а также некоторые группы беспозвоночных, чувствительные к недос-татку кислорода. Сине-зеленые доминируют во многих сообществах мелководной зоны во всех трех котловинах озера. В некоторых районах негативные экологические процессы даже усилились. В частности, объем береговых выбросов водорослей и макрофитов в сентябре 2018 г. напротив пос. Максимиха (Баргузинский залив) был самым массовым за все предшествующие годы наблюдений. Впервые за 20 лет исследований обнаружены тысячи мертвых особей эндемичных пелагических бокоплавов-макрогектопусов (Timoshkin, 2018), выброшенных на берег бухты Сеногда (Сев. Байкал). Рачки являются одним из основных пищевых объектов байкальского омуля.

2. Иллюзия некоторого улучшения состояния прибрежной зоны («чистые камушки» до глубины 1,5 м, отсутствие явно выраженных береговых скоплений детрита и водорослей – в частности, осенью, в бух. Сеногда, где ежегодно, с 2012 г. наблюдались самые массовые выбросы на берег перегнивающей спирогиры) создавалась за счет резкого повышения уровня воды в августе–сентябре 2018 г. Осенние шторма смыли летние скопления гниющих водорослей в мелководную зону озера, что создает предпосылки для серьезного вторичного загрязнения и массового развития нового поколения нитчаток летом–осенью 2019 г. Этим же объясняется внешняя «чистота камней» мелководной зоны напротив поселков Листвянка, Большое Голоустное и др.: в отличие от прежних, маловодных лет, массовые заросли спирогиры «морфотипа 1» начинались не с глубин 0,5–0,7 м, а с глубины 1,5 м и более.

3. По предварительным подсчетам (сентябрь 2018 г.), процент пораженных ветвистых губок – основных фильтраторов прибрежных вод Байкала – не стал меньше, просто менее выраженными стали явные признаки их заболеваний (наличие биопленок циано-прокариот, некротические участки тела, и т.д.).

4. По результатам исследований последних 6 лет, в 2017 г. наблюдалось частичное, а в 2018 г. – уже полное исчезновение феномена массового развития спирогиры «морфотипа 1» в заливе Большие Коты (Южн. Байкал). Наиболее вероятной причиной этому являются документально подтвержденное прекращение (либо – значительное сокращение) использования фосфат-содержащих порошков и моющих средств студентами-практикантами Иркутского госуниверситета, посетителями гостиниц и местными жителями за последние 3–5 лет. Этому предшествовал 2-летний процесс интенсивного экологического просвещения студентов, местных жителей и посетителей-туристов, организованный сотрудниками лаборатории биологии водных беспозвоночных Лимнологического института СО РАН, а также к.б.н. Д.С. Бедулиной (НИИ Биологии при Иркутском госуниверситете). В соседних с Бол. Котами участках прибрежной зоны: зал. Листвяничный (17 км южнее) и пос. Бол. Голоустное (27 км севернее) массовое развитие спирогиры морфотипа 1 продолжалось в осенний период как 2017, так и 2018 гг. Как это было показано ранее, Spirogyra “morphotype 1” является чувствительным индикатором загрязнения прибрежной зоны бытовыми сточными водами (Timoshkin et al., 2016; 2018; Timoshkin, 2018). Данные 7-летних натурных наблюдений в заливе Бол. Коты свидетельствуют о взаимосвязи между массовым развитием водоросли и применением фосфатсодержащих стиральных порошков и моющих средств. Следовательно, природоохранным ведомствам и Минприроды необходимо срочно разработать мероприятия по ограничению и полному запрету на применение подобных моющих средств, по крайней мере, в центральной экологической зоне озера. Положительный опыт по экологическому просвещению населения прибрежных поселков и их посетителей посредством лекций, выпуска экологических трактатов и др. следует как можно скорее распространить и на другие районы Байкальской природной территории. Более подробно с этими данными можно

ознакомиться на сайте ЛИН СО РАН (<http://www.lin.irk.ru/files/tim.pdf>).

5. Проведенная по материалам 2000–2015 гг. оценка прибрежного фитопланктона озера Байкал показала, что численность мелкоклеточных видов рода *Chlamydomonas* в последние годы резко возросла (максимальная до 7 млн кл. дм⁻³). Ранее (1975–1990 гг.) эти водоросли в составе планктона не регистрировались, в единичных количествах были найдены в начале 2000-х гг. В заметном количестве (от 4 до 7 тыс. кл. дм⁻³) встречались и другие водоросли – показатели органического загрязнения воды – эвгленовые. В прошлом эвгленовые отмечались в составе планктона единично. На станциях, прилегающих к населенным пунктам, особенно в районе п. Култук, г. Слюдянка, Байкальск, Северобайкальск и др., были обильны донные нитчатые водоросли рода *Spirogyra*. Здесь же в весенний период 2013 г. отсутствовали (или были представлены единичными экземплярами) водоросли «байкальского комплекса»: считавшиеся эндемиками озера *Aulacoseira baicalensis*, *Stephanodiscus meyeri*, *A. islandica*, присутствующие в фоновых районах озера. Структурные изменения в фитопланктоне и доминирование мелкоклеточных видов свидетельствует об эвтрофировании прибрежной зоны озера.

6. Начиная с 2013 г., в районах прибрежной зоны, подвергшихся наиболее интенсивному антропогенному загрязнению, происходит смена доминирующих групп и видового состава байкальского комплекса беспозвоночных (Rozhkova et al., 2016; 2018; Timoshkin et al., 2016; 2018). В период с 2014 по 2016 гг. в бух. Лиственничная (один из районов с наибольшей антропогенной нагрузкой) отмечены критические перестройки в структуре сообществ макрозообентоса. Так, если в естественных условиях озера на каменистых грунтах преобладали по численности моллюски и амфиподы (более 60%), то в настоящее время доминирующее положение в данном районе занимает олигохетно-полихетный комплекс (около 80% общей численности). При этом доминирующих ранее представителей олигохет семейства Naididae сменили виды Tubificidae и Enchytraeidae, обычно характерные для озер с повышенным содержанием органики. Эврибионтный вид амфипод *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing) и палеарктические виды-вселенцы: брюхоногий моллюск *Lymnaea (Radix) auricularia* (L.), а также ручейники *Hydatophylax nigrovittatus* (McL.) и *Apatania majuscula* McL.) начинают занимать ведущее положение в макрозообентосе. Значения индекса Кинга и Болла, отражающего качество воды по состоянию сообществ макрозообентоса ($i=0,3-0,7$), свидетельствуют о загрязнении бух. Лиственничная. Происходящие изменения в макрозообентосе каменистой литорали Байкала (увеличение количественных показателей, уменьшение индивидуального веса особей, смена доминирующих комплексов и видов) аналогичны событиям, отмеченным в других больших олиготрофных озерах при эвтрофикации.

7. Проведен сравнительный анализ весеннего подледного развития планктонных инфузорий в Южном Байкале за последние 10 лет. До 2007–2009 гг. в высокопродуктивные фитопланктону годы в весеннем планктоне озера развивался специфический полидоминантный «байкальский» комплекс холодолюбивых инфузорий – представителей разных классов. В малоурожайные годы доминировали круглогодичные виды кл. *Spirotrichea* п/кл *Oligotrichia*. При этом общая численность весенних инфузорий в такие годы была, как правило, меньше, чем в высоко- и среднепродуктивные годы. Однако за последние 9–10 лет отчетливо проявились изменения в весеннем развитии планктонных инфузорий Байкала. В целом эти изменения выглядят следующим образом: 1) Практически исчезли межгодовые различия состава доминирующих видов. Ежегодно стали преобладать (до 70–80% общей численности) олиготрихи. Остальные «байкальцы» стали встречаться редко и в небольшом количестве. 2) Изменился размер доминантов – стали преобладать мелкие виды и виды средних размеров (<50-60 мкм). 3) Увеличилась в несколько раз (до 11–25 тыс. кл./л) общая численность весенних инфузорий. 4) Начиная с 2009 г., вклад альгосимбионтов миксотрофных инфузорий в весеннем планктоне увеличился на порядок.

В целом, изменения таксоструктуры (доминирование мелких римостромбидиумов и гапторид, появление новых видов) и повышение уровня количественного развития планктонных инфузорий проявились не только в пелагиали, но и в прибрежной зоне Южного Байкала.

Работы выполнены в рамках НИР № АААА-А16-116122110067-8.

Санитарно-микробиологическая характеристика вод Байкала и устьевых участков крупных притоков озера в 2018 г.

(М. Ю. Суслова, Ю. Р. Штыкова, Е. В. Суханова, Г. В. Подлесная, Т. Я. Косторнова, И. В. Тихонова, О. И. Белых)

Лабораторией водной микробиологии (аттестат аккредитации № RA.RU.21ЛИ02) совместно с лабораторией биологии водных беспозвоночных Лимнологического института СО РАН в 2018 г. проведена оценка качества воды оз. Байкал по санитарно-микробиологическим показателям, предъявляемым к качеству поверхностных водных источников, согласно санитарным правилам СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод» и МУК 4.2.1884-04 «Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов». Учитывали численность общих колиформных бактерий (ОКБ) и термотолерантных колиформных бактерий (ТКБ), количество которых в водоемах, используемых для рекреации, не должно превышать 500 и 100 КОЕ/100 мл, соответственно, а также численность энтерококков, сигнальное значение которых составляет 50 КОЕ в 100 мл.

Для выполнения санитарно-микробиологических исследований в период с мая по ноябрь 2018 г. в различных участках акватории озера Байкал проведен отбор проб воды поверхностного и придонного горизонтов, водной толщи и в устьях крупных притоков озера. В пелагиали озера отобраны 114 проб, в литорали – 350, в устьях рек – 30. Станции отбора проб находились в зоне расположения туристических объектов, населенных пунктов и природоохраненных территорий (рис. 18.6.1).

Результаты проведенных исследований показали:

1. Наиболее неблагоприятными в санитарно-микробиологическом аспекте являлись прибрежные воды пос. Листвянка и заливы Малого Моря. Санитарно-микробиологические показатели превышали допустимые и сигнальные значения в течение всего периода исследований (ОКБ 501,7-1176,4 КОЕ/100 мл, ТКБ 104-692 КОЕ/100 мл, энтерококки 58-380,6 КОЕ/100мл). Наибольшее количество колиформных бактерий и энтерококков определено в августе в пик рекреации.

2. Превышения нормируемых и сигнальных значений санитарно-микробиологических показателей обнаружены в июне и августе в акватории пос. Заречный (ТКБ 140-250 КОЕ/100 мл, энтерококки 108,3-375 КОЕ/100 мл), в августе и сентябре в п. Максимиха (ТКБ 140 КОЕ/100 мл, энтерококки 96-114 КОЕ/100 мл), в августе в бух. Ая (ОКБ 596 КОЕ/100 мл, ТКБ 306 КОЕ/100 мл, энтерококки 490 КОЕ/100 мл) и бух. Песчаная (ТКБ 108 КОЕ/100 мл).

3. Превышения сигнальных значений энтерококков выявлены в июне в бух. Сеногда (120 КОЕ/100 мл) и устье р. Турка (70 КОЕ/100 мл), и в августе в пос. Танхой (68 КОЕ/100 мл).

4. В августе в водах р. Снежная в пос. Выдрино обнаружены значительные превышения ОКБ (12000 КОЕ/100 мл), ТКБ (12000 КОЕ/100 мл) и энтерококков (1600 КОЕ/100 мл), что свидетельствует о поступлении свежего фекального загрязнения и потенциальной эпидемиологической опасности для населения, использующего воду реки в рекреационных целях.

5. Наиболее благоприятным санитарно-микробиологическим состоянием характеризовались пелагические воды озера и прибрежные воды возле мысов Ижимей и Большой Солонцовый, численность колиформных бактерий и энтерококков не превышала нормируемых и сигнальных значений.

Работы выполнены в рамках НИР № АААА-А16-116122110065-6.

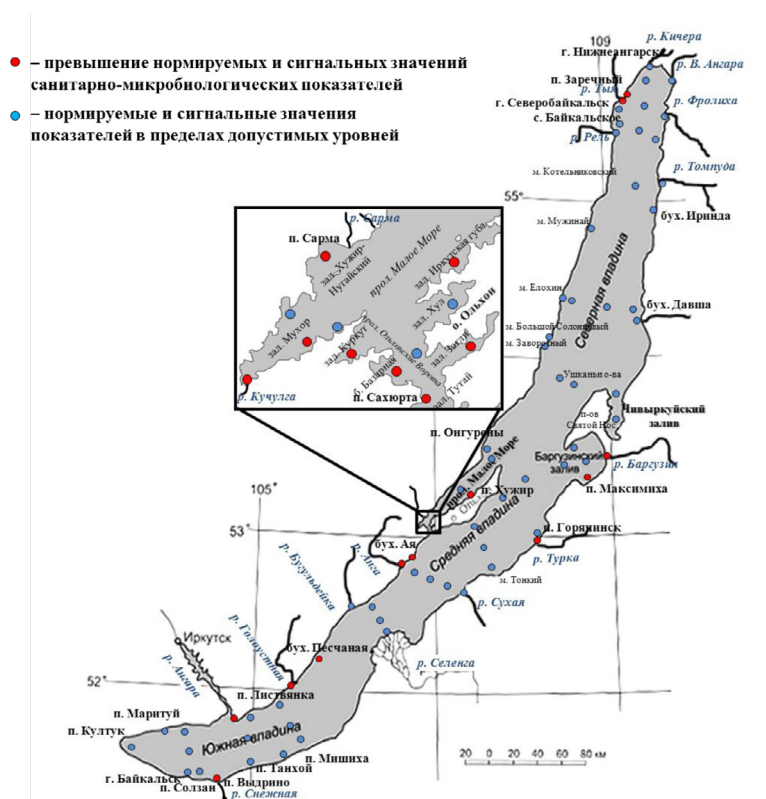


Рис. 18.6.1. - Станции отбора проб в акватории и устьях притоков оз. Байкал в 2018 г.

Современное состояние химического состава воды Байкала- среды обитания байкальских организмов.

(Т. В. Ходжер, В. М. Домышева, И. В. Томберг, М. В. Сакирко)

В 2018 г. в воде пелагиали оз. Байкал на 20 стандартных станциях продольного раз-реза в весенне-летний и осенний периоды исследовано распределение минеральных форм азота, фосфатов, кремния. Содержание биогенных элементов возрастает с глубиной и изменяется: кремний в пределах от 0,28 до 2,77 мг/дм³, фосфаты от 1 до 25 мкг Р/дм³ нитра-ты от 0,02 до 0,16 мг N/дм³. Разброс концентраций на одинаковых глубинах в отдельных котловинах небольшой, с максимумом в трофогенном слое. Межкотловинные различия в содержании биогенных элементов также незначительные, но отмечается тенденция роста их содержания в северной котловине. Содержание иона аммония и нитрит-иона в воде пелагиали в основном ниже предела определения используемых методов, значимые величины наблюдаются только в верхних слоях воды.

Проанализирована межгодовая динамика средневзвешенных концентраций биоген-ных элементов в каждой котловине озера за 2007-2018 гг. Во всей водной толще пелагиа-ли отмечены снижения их концентраций в 2014-2017 гг. в верхнем 100-метровом слое Среднего и Южного Байкала, изменения в Северном были менее значимы. Уменьшение концентраций биогенных элементов в водах Среднего и Южного Байкала связаны с высокой продуктивностью фитопланктона в эти годы.

В современный период обозначилась проблема загрязнения воды в литоральной об-ласти Байкала, где осуществляется сброс недостаточно очищенных сточных вод с городов и крупных поселков, расположенных на побережье, увеличивается туристическая нагруз-ка, возрастает количество судов, что негативно сказывается на экосистеме озера. С 2014 г. в весенний (июнь) и осенний (сентябрь) периоды анализируются прибрежные воды на более чем 30 постоянных станциях по всему периметру озера. Во время исследования концентрации фосфатов в прибрежной

воде в июне изменялись от 2 до 11 мкг Р/дм³, в сентябре не превышали 7 мкг Р/дм³, а суммарное содержание минерального азота (NO₃- + NO₂- + NH₄+) варьировало от 0,01 до 0,3 мг N/дм³ и также было выше в июне. Повышенное содержание биогенных элементов в июне, вероятно, обусловлено внутригодовой динамикой этих компонентов в воде озера и дополнительным поступлением их с побережья при повышении уровня воды озера после вскрытия ото льда.

Анализ данных, полученных на 20 прибрежных станциях (более 120 проб), находящихся вне зоны влияния поселков и городов (фоновые районы) показал, что концентрации фосфатов в воде в 90 % случаев изменялись в диапазоне 0-6 мкг Р/дм³, а содержание минерального азота не превышало 0,05 мг N/дм³. Таким образом, концентрации минерального фосфора (≤ 6 мкг Р/дм³) и азота ($\leq 0,05$ мг N/дм³) можно считать фоновыми для прибрежной воды оз. Байкал в настоящее время. На основе этих данных проведена оценка содержания биогенных элементов в районах озера вблизи населённых пунктов. Результаты показывают, что несмотря на достаточно высокие концентрации фосфатов в отдельные месяцы, средние значения за период исследования, в большинстве случаев, не превышали фоновой величины. Средние концентрации минерального азота в прибрежной воде у поселков Култук, Листвянка и Хужир и г. Байкальск достигали 0,11-0,17 мг N/дм³, что превышает фоновую величину в 2,5-3 раза. Кроме того, в воде у населённых пунктов Хужир, Максимиха, Сахюрта, Северобайкальск, Култук и др. регистрируются достаточно высокие концентрации аммонийного азота (до 0,04 мг N/дм³), а в отдельные периоды доминирование этой формы азота над нитратной, что не характерно для хорошо аэрированных байкальских вод и характеризует достаточно высокое загрязнение в этих районах. Как показано в работах (Kravtsova et.al. 2014, Timoshkin et.al. 2015, 2017), для прибрежных мелководных экосистем повышенные концентрации биогенных элементов оказывают негативное влияние на развитие эндемичных прибрежных водных фитоценозов.

Работы выполнены в рамках НИР № АААА-А16-116122110065-4 и № АААА-А16-116122110067-8.

Поступление фосфора и кремния в оз. Байкал с водами р. Селенги в условиях длительного маловодья.

(Л. М. Сорокикова, В. Н. Синюкович, И. В. Томберг)

Многолетние исследования притоков оз. Байкал показали, что глобальное потепление, проявляющееся в Сибири с начала 1970-х гг., сопровождается перестройкой различных гидрологических процессов в оз. Байкал и его бассейне. Установлено, что со снижением водности и под влиянием антропогенных факторов существенно изменились некоторые показатели качественного состава речных вод и вынос химических компонентов в оз. Байкал. Наиболее существенные изменения отмечены в бассейне главного притока озера - р. Селенге. Так, концентрации общего фосфора в р. Селенге за 2001-2016 гг. были высокими и соответствовали уровню эвтрофных и высокоэвтрофных водоемов. Несмотря на низкую водность, вынос рекой общего фосфора, в сравнении с ранними данными, увеличился в среднем в три раза, в основном, за счет его органической составляющей. Вынос минерального фосфора за рассматриваемый период в среднем составил 206 т/год, или только 34 % от соответствующего показателя 1990-х гг.

Таким образом, произошли изменения в структуре поступления фосфора в озеро – снизился сток минерального, увеличился органического, что может отразиться на доступности фосфора байкальской биоте. Снизилось поступление в Байкал и кремния - одного из важнейших биогенных элементов для развития диатомового комплекса водорослей, преобладающих в структуре фитопланктона. Общий объем «недополучения» Байкалом кремния с водами р. Селенги за этот период составил около 650 тыс. тонн.

В условиях низкой водности с 2001 по 2018 гг. зарегистрировано снижение концентрации растворенного кислорода в речных водах. Насыщение вод кислородом зимой за этот период снизилось с 67-99 % до 44-70 %, что характеризует воду как «сильно загрязненную». Наиболее низкое содержание кислорода (44-48 %

насыщения) наблюдалось в местах интенсивного загрязнения вод реки (станции Новоселенгинск, ниже г. Улан-Удэ, р. Уда). На этих же станциях отмечено повышенное содержание биогенных элементов, органических веществ, что свидетельствует об антропогенном факторе на формирование химического состава и качества вод.

Работа выполнена в рамках НИР, проект АААА-А16-116122110065-4

Лесные пожары как природный источник полициклических ароматических углеводородов в водной экосистеме Байкала

(О. Н. Изосимова, О. В. Кустова, А. Г. Горшков)

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) - один из основных классов органических загрязняющих веществ в водных экосистемах. Важность контроля ПАУ связана с их широким распространением в окружающей среде, стойкостью, возможностью переноса на большие расстояния и потенциально неблагоприятного воздействия на живые организмы. Присутствие ПАУ в водах Байкала связано с антропогенными (выбросы котельных и домашних печей, сжигающих уголь) и природными источниками - лесными пожарами на Байкальской природной территории (БПТ). По данным мониторинга в верхнем водном слое пелагиали Байкала в 2015-2018 гг. (Рис. 18.6.2.) суммарная концентрация ПАУ (Σ ПАУ) оценена диапазоном от 8,0 до 130 нг/л, качественный состав фракции ПАУ - 11 полиаренами (нафталин, 1-метилнафталин, 2-метилнафталин, аценафтен, флорен, фенантрен, флуорантен, пирен, хризен, бензо[b]флуорантен и бензо[e]пирен), причем доля нафталинов во фракции достигала 50-60%. Систематический мониторинг ПАУ в пелагической зоне Байкала подтвердил высокую чистоту воды Байкала, в которой бензо[а]пирен не был обнаружен в верхнем слое воды выше уровня 0,1 нг/л, соответствующего 0,02 ПДК, установленной в России для питьевой воды.

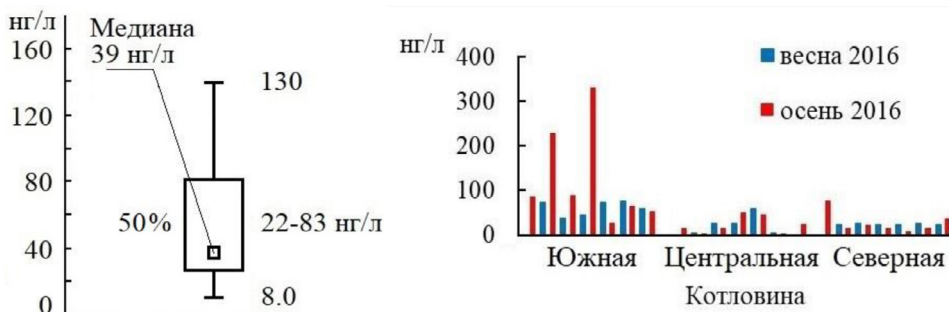


Рис. 18.6.2. Оценка Σ ПАУ в верхнем водном слое (5 м) пелагиали Байкала, май-июнь 2015-2018 гг.

Осенью 2016 г. отмечено резкое увеличение Σ ПАУ в верхнем водном слое пелагиали на отдельных станциях Южного и Среднего Байкала до 230-330 нг/л, до 10 раз от среднего уровня для вод озера. Примечательно, что состав ПАУ в собранных пробах отличался принципиально - во фракции углеводородов доминировали фенантрен, пирен и флуорантен (суммарное содержание доминирующих полиаренов достигало до 90% от Σ ПАУ). Так как обнаруженные ПАУ относятся к основным компонентам продуктов сгорания древесины и учитывая число лесных пожаров на территории БПТ в течение летнего сезона 2016 г., повышение содержания ПАУ в верхнем водном слое связано с переносом воздушных масс, загрязненных дымами, в район акватории Байкала и последующим осаждением ПАУ с частицами сажи и золы. Общая токсичность обнаруженных ПАУ (TEQ) не превышала 0,20 нг/л. Таким