

УДК 665.7: 543.31 (282.256.341)

Современный уровень нефтепродуктов в воде озера Байкал и его притоков

А. Г. ГОРШКОВ, И. И. МАРИНАЙТЕ, Т. И. ЗЕМСКАЯ, Т. В. ХОДЖЕР

*Лимнологический институт Сибирского отделения РАН,
ул. Улан-Баторская, 3, Иркутск 664033 (Россия)**E-mail: gorchkov_ag@mail.ru*

(Поступила 15.01.10; после доработки 21.01.10)

Аннотация

Представлены данные определения нефтепродуктов в поверхностной и придонной воде озера Байкал и его притоков, полученные экспресс-методом (флуориметрия, 168 проб) на борту НИС, а также данные по *n*-алканам и полициклическим ароматическим углеводородам (ПАУ), полученные в лабораторных условиях методом хромато-масс-спектрометрии. Установлено, что на глубоководных станциях реперного разреза содержание нефтепродуктов в поверхностных водах не превышает 10 мкг/дм³, в водной толще и придонном слое – 5–7 мкг/дм³, в том числе *n*-алканов – 0.15 мкг/дм³, ПАУ (приоритетные загрязнители) – 0.012 мкг/дм³; концентрация бенз[а]пирена до 10 раз ниже ПДК_{п/в} (0.005 мкг/дм³), суммарное содержание шести ПАУ, контролируемых в питьевой воде стран ЕЭС, до 50 раз ниже ПДК_{ЕЭС} (0.2 мкг/мл). Повышенный фон нефтепродуктов, достигающий 50 мкг/дм³ (ПДК_{р/х}), отмечен на ограниченных участках интенсивных судоходных путей. Экстремальные концентрации нефтепродуктов (до 1.3 · 10⁴ мкг/дм³), *n*-алканов (до 500 мкг/дм³), ПАУ (до 20 мкг/дм³) обнаружены в пробах с водной поверхности озера в районах естественных нефтепроявлений. При удалении от границ нефтепроявлений (нефтяных пятен на водной поверхности) содержание нефтепродуктов резко снижается, но почти в два раза превышает средние значения для акватории озера (11 мкг/дм³).

Ключевые слова: нефтепродукты, *n*-алканы, полициклические ароматические углеводороды, уровень загрязнения, озеро Байкал

ВВЕДЕНИЕ

Естественные нефтепроявления на Байкале относятся к одному из феноменов его экосистемы. В местах выхода нефти у Восточного побережья, среди которых наиболее известны районы, расположенные вблизи станции Танхой и в устье р. Б. Зеленовской, поток нефтяных углеводородов со дна озера варьирует от 0.1 до 2 т/год. Поступающая нефть в виде нефтяных пятен на водной поверхности и нефтяных сгустков в трещинах льда относится к числу биodeградированных [1]. Новое нефтепроявление у м. Горовой утес, открытое в 2005 г., характеризуется поступлением на водную поверхность “сырой” нефти в количестве до 4 т/год [1–4]. На момент его обнаружения загрязнение водной поверхности проявлялось в виде нефтяных пятен

с размерами до 1 м² на площади, примерно равной 1 км².

К числу основных техногенных источников нефтепродуктов (НП) в водах Байкала следует отнести выбросы двигателей судов байкальского флота. По регистрационным данным Восточно-Сибирской судовой инспекции, в акватории Байкала и Иркутского водохранилища официально зарегистрировано свыше 400 судов, и их количество с каждым годом увеличивается [5]. Определенный вклад в загрязнение вод НП вносят хозяйственно-бытовые стоки городов и поселков, расположенных на побережье озера, а также Восточно-Сибирская и Байкало-Амурская железнодорожные магистрали, пролегающие вдоль береговой линии [6].

Наличие в экосистеме Байкала природных нефтепроявлений определяет необходимость

учета геохимического фона при оценке антропогенного вклада в загрязнение вод озера НП. Однако мониторинг НП в водах Байкала контролирующими организациями проводится с применением флуориметрического метода [7]. При таком способе контроля нефтяные углеводороды техногенного и природного происхождения, в частности *n*-алканы, остаются за рамками определения, а результат измерения концентрации ароматических производных может быть завышен за счет флуоресценции биогенных продуктов. В связи с этим определение НП с применением различных аналитических методов весьма актуально и имеет важное практическое значение для оценки современного уровня этих загрязняющих веществ в воде оз. Байкал и его протоков.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение концентраций НП в поверхностной и придонной воде оз. Байкал проведено в ходе совместной экспедиции Лимнологического института СО РАН и Иркутского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в июне 2006 г. Для измерения содержания НП было отобрано 168 проб воды на 84 станциях в трех котловинах озера, в том числе в районах сброса очищенных стоков Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК) и интенсивных судоходных путей, в устьях притоков Северного Байкала (реки Верхняя Ангара, Кичера, Тья, Томпуда и Рель) и в истоке р. Ангары. Нефтепродукты в пробах определяли непосредственно на борту НИС “Верещагин” по методике, описанной в работе [7]. Полученные экстракты (*n*-гексан, 200 см³ воды) повторно анализировали в лабораторных условиях методом ГХ-МС, добавляя перед анализом растворы стандартов: 50 мм³ сквалана (220 мкг/мм³) и 50 мм³ раствора стандарта ПАУ (нафталин-d₈, аценафтен-d₁₀, фенантрен-d₁₀, хризен-d₁₂, перилен-d₁₂ в ацетонитриле, 5 нг/мм³ каждого).

В притоках Южного Байкала (реках Утулик, Солзан, Хара-Мурин, Снежной, Перемной), дельте р. Селенги пробы воды отбирали в мае 2008 и 2009 гг. В районе нефтепроявлений у м. Горевой утес и устья р. Б. Зе-

леновской пробы воды с водной поверхности и с различных горизонтов водного тела озера отбирали в июле–августе с 2005 по 2009 гг. В точках реперного разреза Байкала, проходящего по центральной части озера, пробы поверхностной и придонной воды отбирали в 2006 и 2009 гг. К пробам воды, отобранным в стеклянные бутылки емкостью 1.0 дм³, добавляли 30 см³ хлористого метилена, смесь встряхивали в течение 2–3 мин и хранили до анализа при 5 °С. Перед анализом к пробам воды добавляли 50 мм³ раствора сквалана (220 мкг/мм³), 50 мм³ раствора стандарта ПАУ и дважды экстрагировали 50 см³ хлористого метилена. Экстракты объединяли и концентрировали до получения объема, примерно равного 500 мм³.

Сконцентрированные экстракты дважды анализировали на хромато-масс-спектрометре (Agilent, GC 6890, MSD 5973), вводя в колонку хроматографа (DB 17ms, 30 м×250 мкм) 2 мм³ концентрата без разделения потока в инжекторе. При определении *n*-алканов образцы хроматографировали при градиенте температуры колонки от 50 до 300 °С со скоростью нагрева 10 °С/мин и изотермическом режиме в течение 5 мин при 300 °С, при определении ПАУ – при градиенте температуры колонки от 95 до 310 °С со скоростью нагрева 10 °С/мин и изотермическом режиме в течение 5 мин при 310 °С. Пики *n*-алканов регистрировали в режиме мониторинга ионов с *m/z* 57 и 71, пики ПАУ – в режиме мониторинга молекулярных ионов во временных интервалах удерживания аналитов с ионизацией электронным ударом при 70 эВ.

Количественные определения проводили по методу внутреннего стандарта. Градуировочные характеристики определяли по формуле $m_{ан}/m_{ст} = kS_{ан}/S_{ст}$ где $m_{ан}$ – масса аналита (ПАУ или *n*-алкана), нг; $m_{ст}$ – масса стандарта, нг; $S_{ан}$ – площадь пика аналита (ПАУ или *n*-алкана), отн. ед.; $S_{ст}$ – площадь пика стандарта, отн. ед.; k – калибровочный коэффициент. Значения коэффициентов корреляции составили не менее 0.985–0.998. Для приготовления калибровочных растворов использовали индивидуальные ПАУ и смесь парафинов в октане (*n*-C₁₈,

n-C₂₀, *n*-C₂₂ и *n*-C₂₄) (Supelco, США). Степень извлечения *n*-алканов и ПАУ составляла не менее 75–80 %, внутрилабораторная прецизионность определения *n*-алканов и ПАУ – 10 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка содержания нефтепродуктов, *n*-алканов и ПАУ в воде оз. Байкал и его притоков

Определенные методом флуориметрии данные по концентрации НП в водах озера (<5–50 мкг/дм³), притоках Южного (<5–18 мкг/дм³) и Северного Байкала (7–38 мкг/дм³) не превышают ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения (50 мкг/дм³) [8]. Концентрация НП в поверхностной воде почти в три раза превышает их концентрацию в придонной воде. На основании результатов мониторинга построена карта распределения НП по акватории оз. Байкал (рис. 1).

В поверхностной и придонной воде Южного Байкала, на побережье которого распо-

ложены основные потенциальные источники загрязняющих веществ – хозяйственно-бытовые стоки городов Слюдянки и Байкальск, порта Байкал, пос. Листвянка – содержание НП находится в диапазоне <5–15 мкг/дм³ (разрезы Култук–Слюдянка, Танхой–Листвянка). В прибрежной воде в районе г. Слюдянка и пос. Утулик содержание НП составляет 10–16 мкг/дм³, в воде истока р. Ангары – 6–9 мкг/дм³ (среднее значение для акватории озера составляет 11 мкг/дм³). Отмечено, что концентрация НП в образцах придонной воды, отобранных на расстоянии 100 м от глубинного сброса сточных вод БЦБК (7–40 мкг/дм³), выше, чем в поверхностной воде (9–22 мкг/дм³). В отобранных пробах определенное методом ГХ-МС содержание ПАУ и *n*-алканов находилось в пределах ≤0.03–0.10 и ≤0.15 мкг/дм³ соответственно (табл. 1).

Притоки озера на южном побережье (см. табл. 1) характеризуются высокими концентрациями ПАУ в весенний период года [9]. Очевидно, это связано с накоплением данных

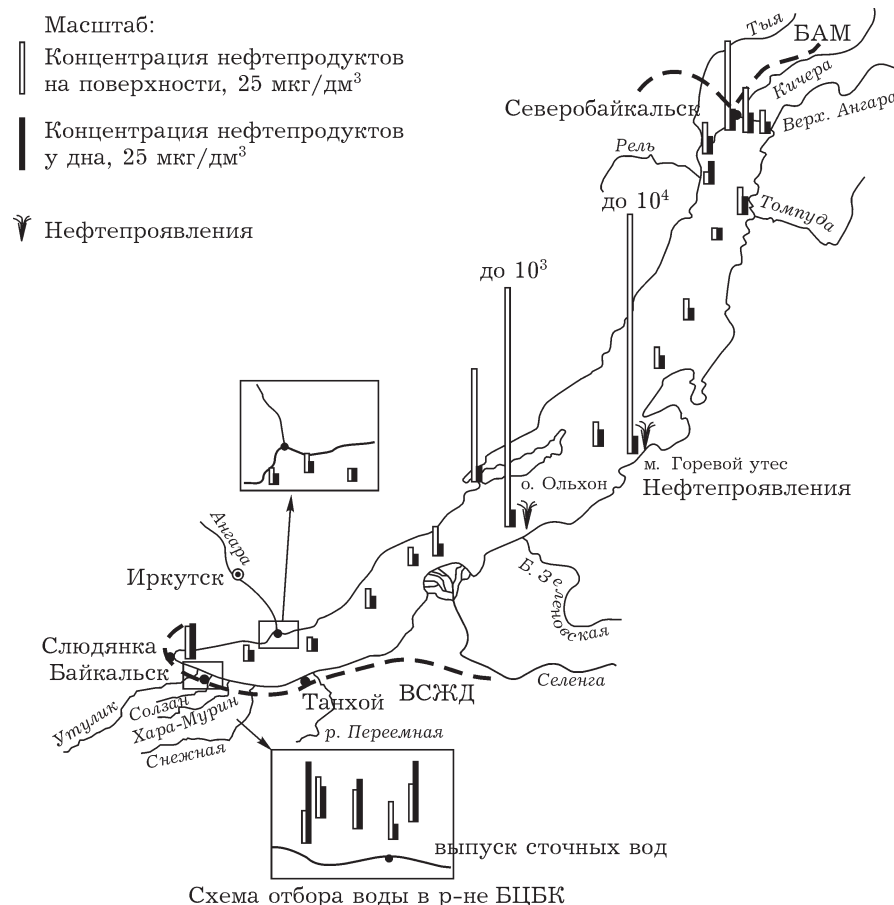


Рис. 1. Содержание нефтепродуктов в поверхностной и придонной водах оз. Байкал, июнь–июль 2006 г.

органических поллютантов в снежном покрове водосборной территории и их сбросом с тальми водами. Данное явление имеет ярко выраженную сезонную и межгодовую изменчивость и не отражается на чистоте воды в южной котловине озера: суммарная концентрация приоритетных ПАУ не превышает 0.08 мкг/л, бенз[а]пирена – 0.0004 мкг/дм³ (<0.1 ПДК_{п/в}). Содержание НП в водах рек Солзан, Хара-Мурин, Снежной, Переемной характеризуется низким уровнем (≤5–10 мкг/дм³), за исключением проб из р. Утулик (до 18 мкг/дм³).

На ограниченных участках интенсивных судоходных путей – вдоль юго-западного берега Байкала, в Малом море – отмечается повышенный фон НП. В отобранных пробах воды из данного района содержание НП достигало 50 мкг/дм³ (ПДК_{р/х}), в то время как определенное методом ГХ-МС содержание нефтяных углеводородов (ПАУ и *n*-алканов) не превышало 0.03–0.14 и 0.15 мкг/дм³ соответственно.

По данным обследования р. Селенги, интервалы содержания ПАУ и алифатических углеводородов в ее поверхностных водах составляют 0.001–0.017 и <0.05–38 мкг/дм³ соответственно [10]. В основных протоках дельты НП обнаружены на уровне 15–78 мкг/дм³,

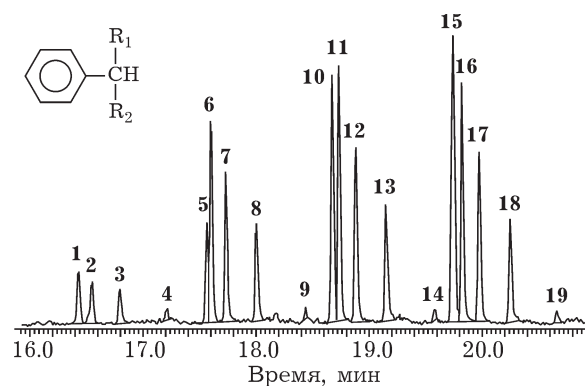


Рис. 2. Масс-хроматограмма по иону m/z 91 экстракта придонной воды из прибрежной зоны г. Северо-Байкальска. Пики алкилбензолов: **1** – (1-бутил)-гексилбензол, **2** – (1-пропил)-гептилбензол, **3** – (1-этил)-октилбензол, **4** – (1-метил)-нонилбензол, **5** – (1-пентил)-гексилбензол, **6** – (1-бутил)-гептилбензол, **7** – (1-пропил)-октилбензол, **8** – (1-этил)-нонилбензол, **9** – (1-метил)-децилбензол, **10** – (1-пентил)-гектилбензол, **11** – (1-бутил)-октилбензол, **12** – (1-пропил)-нонилбензол, **13** – (1-этил)-децилбензол, **14** – (1-метил)-ундецилбензол, **15** – (1-пентил)-октилбензол, **16** – (1-бутил)-нонилбензол, **17** – (1-пропил)-децилбензол, **18** – (1-этил)-ундецилбензол, **19** – (1-метил)-додецилбензол.

в том числе ПАУ до 0.34 мкг/дм³. При удалении от дельты, на разрезах Красный Яр – Хараус, Бугульдейка – м. Средний, концентрация НП не превышала 5–9 мкг/дм³, ПАУ (приоритетные соединения) – 0.03 мкг/дм³.

В Северном Байкале – вдоль береговой линии от м. Котельниковский на западе и до р. Томпуды на востоке – в отобранных пробах воды концентрация НП находится в диапазоне 5–12 мкг/дм³. В пробах воды из притоков (реки Рель, Томпуда, Верхняя Ангара и Тья) содержание НП не превышает 8–10 мкг/дм³, содержание ПАУ и *n*-алканов – уровня определения использованной методики, равно ≤ 0.03 и ≤ 0.15 мкг/дм³ соответственно.

В образцах придонной воды, собранных в полукилометровой зоне от устья р. Кичеры и г. Северобайкальска, отмечается повышенный фон НП – до 38 и до 22 мкг/дм³ соответственно. При их анализе методом ГХ-МС в составе пробы из района Северобайкальска обнаружены *n*-алканы с содержанием от 0.4 до 1.1 мкг/дм³ и моноалкилбензолы с брутто-формулой C₁₆H₂₆–C₁₉H₃₂. Последние соединения имеют уникальную структуру и представлены четырьмя группами гомологов, в каждой из которых идентифицировано по пять изомеров (рис. 2). Источник соединений данного класса ароматических соединений в окружающей среде связывают с “сырой” нефтью, в частности, с их присутствием в природных битумах [11, 12].

На глубоководных станциях реперного разреза, проходящего по центральной части озера ($n = 29$), содержание НП в поверхностном слое воды не превышает 10 мкг/дм³, в водной толще и придонном слое – 5–7 мкг/дм³, суммарная концентрация *n*-алканов – 0.15 мкг/дм³, ПАУ (приоритетные загрязнители) – 0.012 мкг/дм³. Содержание бенз[а]пирена составляет не более 0.0007 мкг/дм³, что почти в семь раз ниже ПДК_{п/в}, а суммарная концентрация шести ПАУ, контролируемых в странах ЕЭС в питьевой воде, до 50 раз ниже ПДК_{ЕЭС} (0.2 мкг/дм³ [13]). Ранее [4] фоновое содержание *n*-алканов в воде Байкала (гомологические ряды от *n*-C₁₈ до *n*-C₃₃) в поверхностной фильтрованной воде и на взвешенных частицах с глубины 300 и 900 м оценивалось на уровне 0.1 и от 260 до 90 мкг/дм³ соответственно. По данным работы [15], в образцах поверхностной воды, со-

ТАБЛИЦА 1

Содержание нефтепродуктов (НП), *n*-алканов, ПАУ в поверхностной воде оз. Байкал и его притоков, мкг/дм³

Район отбора проб (число проб)	НП	Σ <i>n</i> -алканов	Σ ПАУ
Прибрежная зона, г. Слодянка (3)	10–16	≤0.15	0.03–0.10
То же, г. Байкальск (2)	9–22	≤0.15	0.03–0.07
Разрез Листвянка – Танхой (2)	<5–15	<0.15	≤0.03–0.08
То же, Красный яр – Хараус (2)	5–8	≤0.15	0.03–0.13
То же, Бугульдейка – м. Средний (2)	6–9	≤0.15	≤0.03
Исток Ангары (3)	6–9	<0.15	≤0.03
Нефтепроявление, устье р. Б. Зеленовской (10)	50–2000	0.9–7.5	0.43
То же, м. Горевой утес (14)	60–13 000	0.5–13	0.40–20
Малое море (4)	<5–50	≤0.15	≤0.03–0.14
Береговая линия м. Котельниковский – р. Томпуда (4)	5–12	≤0.15	≤0.03
Прибрежная зона г. Северо-Байкальск – устье р. Кичеры (4)	22–38	0.4–1.1	≤0.03
Притоки: Утулик, Солзан, Хара-Мурин, Снежная, Переемная (4)	<5–18	–	0.04–0.30
Притоки: Рель, Томпуда, Верхняя Ангара, Тья (2)	8–10	≤0.15	≤0.03
Дельта р. Селенги (3)	15–78	–	0.04–0.34
Станции реперного разреза (29)	<5–10	≤0.15	≤0.03

бренных вдоль юго-западного побережья Байкала, суммарная концентрация ПАУ составляла 0.012 мкг/дм³, в том числе для приоритетных загрязнителей – 0.008 мкг/дм³.

Содержание нефтепродуктов, *n*-алканов и ПАУ в водах Байкала в районах естественных нефтепроявлений

Результаты мониторинга НП, *n*-алканов и ПАУ в районах нефтепроявлений представлены в табл. 1. Концентрация НП в пробах воды, при их отборе из нефтяных пятен, достигала экстремальных значений (1.3 · 10⁴ мкг/дм³), в то время как в пробах придонной воды она не превышала 5–8 мкг/дм³. Содержание *n*-алканов в пробах с нефтяной пленкой варьирует от 100 до 550 мкг/дм³. В воде, отобранной с поверхности без нефтяных пятен и с глубинных горизонтов озера, концентрация *n*-алканов не превышала 0.5–13 мкг/дм³. Качественный состав углеводородов в пробах с участка нефтепроявления у м. Горевой утес характеризовался гомологическими рядами от *n*-C₁₁ до *n*-C₃₃ (рис. 3), в то время как в пробах

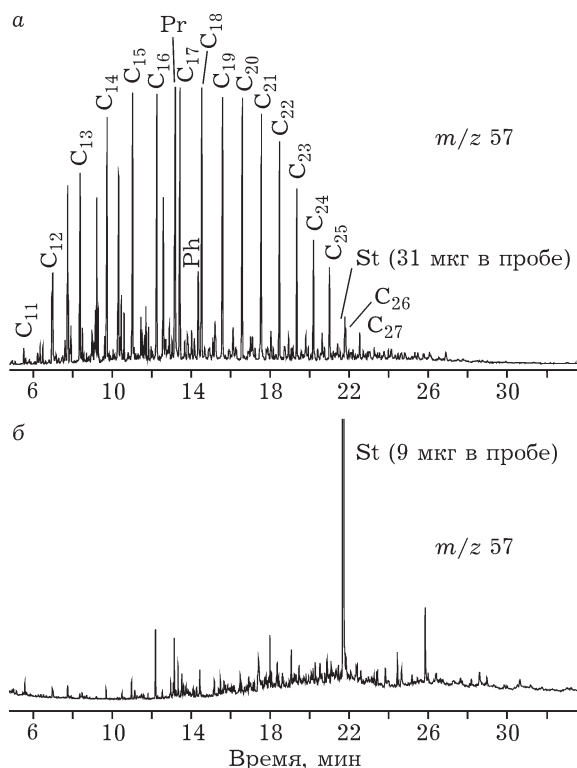


Рис. 3. Масс-хроматограммы по иону *m/z* 57 экстрактов образцов поверхностной воды, собранных в различных районах: а – нефтепроявление в районе м. Горевой утес, суммарное содержание *n*-алканов 13 мкг/дм³; б – разрез Листвянка – Танхой, суммарное содержание *n*-алканов 0.15 мкг/дм³. St – внутренний стандарт сквалан.

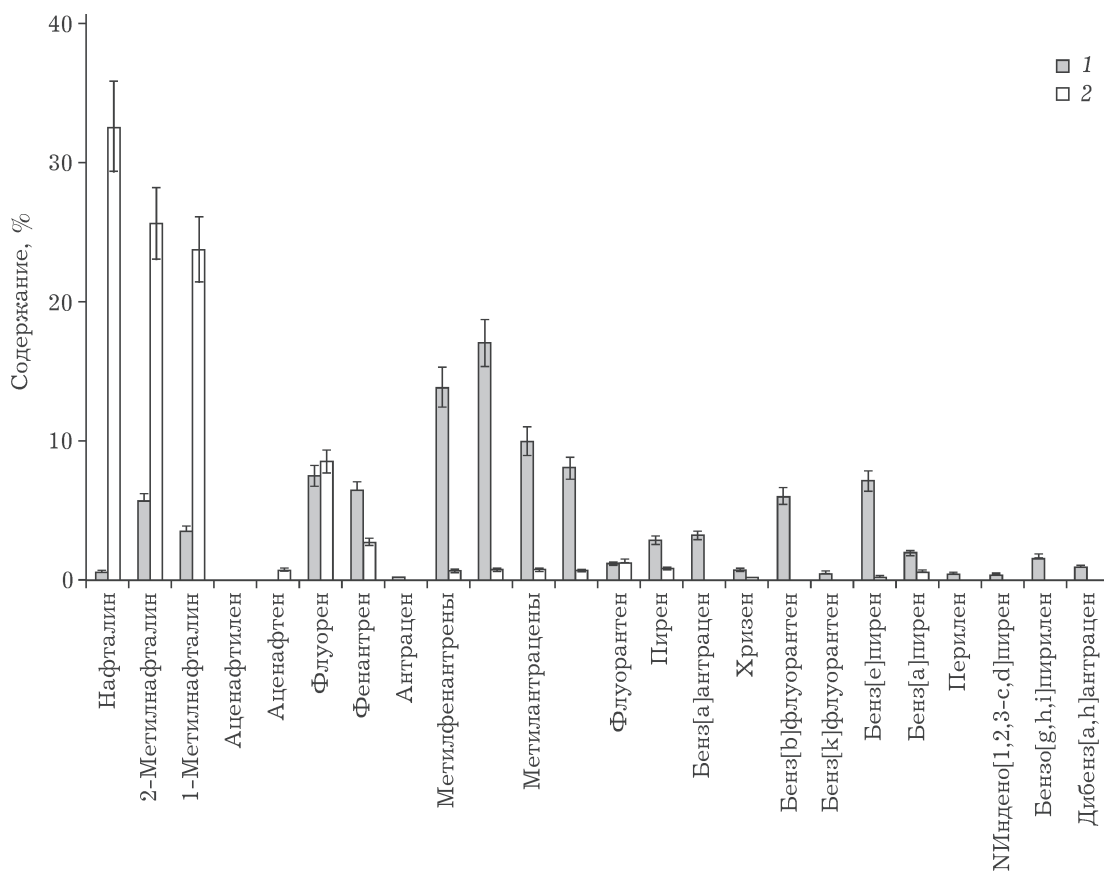


Рис. 4. Качественный состав ПАУ в пробах поверхностной воды оз. Байкал: 1 – нефтепроявление у м. Горевой утес, суммарная концентрация обнаруженных ПАУ 20 мкг/дм³, суммарная концентрация приоритетных ПАУ 6.8 мкг/дм³; 2 – разрез Листвянка – Танхой, суммарная концентрация обнаруженных ПАУ 0.16 мкг/дм³, суммарная концентрация приоритетных ПАУ 0.08 мкг/дм³.

из района нефтепроявления в устье р. Б. Зеленовской, отличающегося поступлением в озеро биodeградированной нефти, *n*-алканы представлены высшими гомологами (*n*-C₂₂–*n*-C₃₃).

Максимальная суммарная концентрация ПАУ в образцах воды, включающих нефтяную пленку, достигала 20 мкг/дм³, для приоритетных загрязнителей – 6.8 мкг/дм³. Среди ПАУ идентифицированы 22 соединения (14 приоритетных), с соотношениями, характерными для углеводородов нефтяного происхождения (фенантрен/антрацен ≥ 30, флуорантен/пирен = 0.4) [16].

При удалении от участков водной поверхности с нефтяными пятнами концентрация НП в придонной и поверхностной водах резко снижалась и не превышала 7–40 мкг/дм³ (0.1–0.8 ПДК_{р/х}), а содержание *n*-алканов в поверхностной воде – 1.2 мкг/дм³. При этом ряд обнаруженных гомологов углеводородов значительно уже и включает углеводороды от *n*-C₁₆

до *n*-C₂₄. На станциях реперного разреза содержание *n*-алканов в пробах поверхностной воды не превышает 0.15 мкг/дм³ (см. рис. 3).

Суммарное количество и соотношение ПАУ в пробах воды за пределами районов нефтепроявлений изменялось так же существенно. Например, в образцах с разреза Танхой–Листвянка (рис. 4) среди идентифицированных ПАУ доминировали нафталины – до 80 % от суммы обнаруженных аренов (0.16 мкг/дм³). По-видимому, вследствие высокой растворимости в воде (до 32 000 мкг/дм³, [17]) нафталины сохраняются в водных массах и переносятся водными течениями на значительные расстояния, в то время как высокомолекулярные арены сорбируются на твердых частицах взвеси и переходят в донные отложения.

Резкое падение концентраций НП, *n*-алканов и ПАУ за границами участков нефтепроявлений указывает на ограниченный вклад этого природного источника в загрязнение

вод Байкала нефтяными углеводородами. Отмечено, что нефтяные пятна образуются на поверхности озера и исчезают с определенной периодичностью. Исчезновение пятен возможно в результате их быстрой трансформации при участии микробного сообщества байкальских микроорганизмов. Вклад последних в процесс деградации подтверждается численностью углеводородокисляющих бактерий, которая за период наблюдения в районе нефтепроявления у м. Горевой утес с 2005 по 2007 гг. существенно возросла (от 8 до 2000 раз) по сравнению с их численностью в районе станций, удаленных от выхода нефти. В зоне нефтяных пятен распределение микроорганизмов мозаично, наиболее высокие концентрации отмечены в поверхностной воде с нефтяной пленкой и в придонной области, причем большая часть культивируемого микробного сообщества способна использовать углеводороды в качестве единственного источника углерода [18].

Процесс биотрансформации нефти подтверждается также видом хроматограмм экстрактов проб воды, которые имеют бимодальный вид распределения гомологов *n*-алканов с противоположными значениями индекса нечетности (ИН) для низкомолекулярной и высокомолекулярной фракций (рис. 5). В результате бактериального воздействия на низкомолекулярные алканы нефти образуются чет-

ные гомологи [19], поэтому соотношение четных и нечетных гомологов <1 для *n*-алканов с длиной цепи менее 20 атомов углерода указывает на процесс биотрансформации нефтяных углеводородов. В случае "байкальской" нефти ИН для фракции *n*-C₁₀-*n*-C₁₇ достигает значений 0.3–0.5 (см. рис. 5). Очевидно, в результате воздействия байкальских микроорганизмов происходит ограничение участка водной поверхности, загрязненных НП, за пределами которого их содержание не превышает ПДК_{р/х} (0.1–0.8 ПДК_{р/х}).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов мониторинга НП в водах Байкала и его притоков, полученных экспрессным флуориметрическим методом на борту НИС, исследования отобранных проб в лабораторных условиях с применением метода ГХ-МС следует констатировать, что на фоновых станциях реперного разреза содержание НП в поверхностном слое воды не превышает уровня 10 мкг/дм³ (0.1 ПДК_{п/в}), в водной толще и придонном слое – 5–7 мкг/дм³, в том числе *n*-алканов – 0.15 мкг/дм³ и ПАУ (приоритетные загрязнители) – 0.012 мкг/дм³, концентрация бенз[а]пирена не превышает 0.0007 мкг/дм³ (до 10 раз ниже ПДК_{п/в}). Суммарное содержание шести ПАУ, контролируемых в питьевой воде в странах ЕЭС, до 50 раз ниже ПДК_{ЕЭС} (0.2 мкг/дм³). Следует отметить, что в случае отсутствия нефтяных углеводородов в пробах поверхностной и придонной воды данные флуориметрии представляют, скорее, оценку углеводородного геохимического фона, а не загрязнение НП байкальской воды. В то же время идентификация *n*-алканов и алкилбензолов в пробах воды из района Северобайкальска свидетельствует о возможном антропогенном характере загрязнения.

Воды районов естественных нефтепроявлений характеризуются экстремальным содержанием НП на ограниченных участках водной поверхности (до $1.3 \cdot 10^4$ мкг/дм³) и включают до 500 мкг/дм³ *n*-алканов и 20 мкг/дм³ ПАУ. При удалении от участков нефтепроявлений концентрация НП в поверхностных водах резко снижается, не превышает ПДК_{р/х} (0.1–0.8 ПДК_{р/х}), что указывает на ограни-

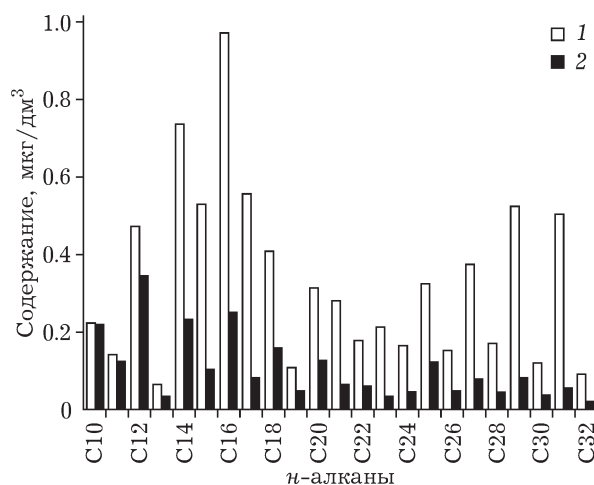


Рис. 5. Соотношение *n*-алканов в экстракте воды, отобранной в районе м. Горевой утес. 1 – поверхностный слой (0 м), для фракции *n*-C₁₀-*n*-C₁₇ ИН = 0.54, для фракции *n*-C₁₈-*n*-C₃₁ – 1.55; 2 – водный горизонт (760 м), для фракции *n*-C₁₀-*n*-C₁₇ ИН = 0.33, для фракции *n*-C₁₈-*n*-C₃₁ – 0.94.

ченный вклад этого природного источника в загрязнение вод Байкала нефтяными углеводородами. Низкий уровень содержания НП в притоках озера, не превышающий средний для акватории озера (11 мкг/дм³), подтверждает отсутствие загрязнения водосборных территорий данным классом экотоксикантов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Конторович А. Э., Каширцев В. А., Москвин В. И., Бурштейн Л. М., Земская Т. И., Костырева Е. А., Калмычков Г. В., Хлыстов О. М. // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 12. С. 1346–1356.
- 2 Gorshkov A. G., Grachev M. A., Zemskaya T. I., Khlystov O. M., Moskvina V. I. // Abstr. Int. Congress on Analytical Sciences. June 26–30, Moscow. 2006. Vol. 1. P. 375–376.
- 3 Каширцев В. А., Конторович А. Э., Москвин В. И., Данилова В. П., Меленевский В. Н. // Нефтехимия. 2006. Т. 46, № 4. С. 243–250.
- 4 Хлыстов О. М., Горшков А. Г., Егоров А. В., Земская Т. И., Гранин Н. Г., Калмычков Г. В., Воробьева С. С., Павлова О. Н., Якуп М. А., Макаров М. М., Москвин В. И., Грачев М. А. // ДАН. 2007. Т. 414, № 5. С. 656–659.
- 5 Восточно-Сибирский филиал ФГУ “Российский Речной Регистр” [электронный ресурс]. URL: http://www.geol.irk.ru/baikal/rep_2007/pdf/baikal2007_p1-4-7-1.pdf
- 6 Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2007 году”. Иркутск: ООО Бланкиздат, 2008. 341 с.
- 7 ПНД Ф 14.1:2.4.128–98 “Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых и сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости “Флюорат-02”. М.: 1998. (Издание 2002).
- 8 Перечень рыбохозяйственных нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. ВНИРО. М.: 1999. 304 с.
- 9 Мариняте И. И. // Оптика атмосферы и океана. 2006. Т. 19, № 6. С. 499–503.
- 10 Морозов С. В., Могнонов Д. М., Рабина О. А., Рогов В. Е., Жамьянов Д. Ц., Вялков А. И., Ткачева Н. И. // Тез. докл. VIII Науч. конференции “Аналитика Сибири и Дальнего Востока”. 13–18 октября, Томск. 2008. С. 221–222.
- 11 Dutta T. K. // Environ. Geochem. and Health. 2005. Vol. 27. P. 271–284.
- 12 Голубина О. А. Состав продуктов гидротермального превращения природного асфальтита: Автореф. дис... канд. хим. наук. Томск, 2006. 165 с.
- 13 Water Quality Control. Part VI. Polish and International regulations [Electronic Resource]. URL: <http://www.pg.gda.pl/chem/Dydaktyka/Analityczna/WQC/WATER REG. pdf>
- 14 Russell M., Rosell-Mele A. // Global and Planetary Change. 2005. Vol. 46. P. 45–56.
- 15 Юнг Д., Озретич Р., Робертс Ф., Бринкен А. О., Таганов И. Н. // Известия РГО. 1999. Т. 131, Вып. 1. С. 65–69.
- 16 Бродский Е. С., Лукашенко И. М., Калинин Г. А., Савчук С. А. // Журн. аналит. химии. 2002. Т. 57, № 6. С. 592–596.
- 17 Майстренко В. Н., Клюев Н. А. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. 323 с.
- 18 Павлова О. Н., Земская Т. И., Горшков А. Г., Косторнова Т. Я., Хлыстов О. М., Парфенова В. В. // Изв. РАН. Сер. биол. 2008. № 3. С. 333–340.
- 19 Nishimura M., Beker E. W. // Geochim. Cosmochim. Acta. 1986. Vol. 50. P. 299–305.