

Состав и концентрация углеводородов донных отложений в зоне разлива дизельного топлива ТЭЦ-3 АО «НТЭК» (г. Норильск, Арктическая Сибирь)

О. П. ТАРАН^{1, 2}, А. М. СКРИПНИКОВ^{1, 2}, В. А. ИОНИН¹, К. Л. КАЙГОРОДОВ¹, С. К. КРИВОНОГОВ^{3, 4},
Н. Н. ДОБРЕЦОВ³, В. Н. ДОБРЕЦОВ³, Е. В. ЛАЗАРЕВА³, Н. Н. КРУК³

¹Институт химии и химической технологии СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/24
E-mail: taran.op@icct.krasn.ru

²Сибирский федеральный университет
660041, Красноярск, просп. Свободный, 79

³Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3

⁴Новосибирский государственный университет
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 1

Статья поступила 16.02.2021

После доработки 04.03.2021

Принята к печати 05.03.2021

АННОТАЦИЯ

В работе проведен анализ проб донных отложений и колонок донных отложений (ДО) на общее содержание нефтепродуктов (углеводородов) в Норило-Пясинской группе водных объектов, подвергшихся загрязнению в результате разлива дизельного топлива из резервуара ТЭЦ-3 АО «НТЭК» г. Норильска. Для анализа использовано два метода: флуориметрический и газохроматографический. Кроме того, методом газовой хроматографии получены распределения *n*-алканов в экстрактах ДО, изучен вклад в общее содержание углеводородов дизельного топлива и углеводородов слабозрелого органического вещества современных осадков. Установлен углеводородный состав дизельного топлива и хлороформенных экстрактов ДО. В результате показано, что уровни загрязнения ДО углеводородами для оз. Пясино являются не существенными по сравнению с их фоновым содержанием, а максимальное загрязнение выявлено для ДО р. Амбарной.

Ключевые слова: донные отложения, колонки донных отложений, нефтепродукты, углеводороды, дизельное топливо, флуориметрия, газовая хроматография.

Нефтепродукты (НП) и углеводороды (УВ) являются основой современной экономики, а также загрязнению природы в результате аварий и катастроф. Большие количества УВ что неизбежно приводит к увеличению антропогенного глобального и локального фона, поступают в поверхностные воды при перевозке нефти водным путем, при работе водного

© Таран О. П., Скрипников А. М., Ионин В. А., Кайгородов К. Л., Кривоногов С. К., Добрецов Н. Н., Добрецов В. Н., Лазарева Е. В., Крук Н. Н., 2021

транспорта, со сточными водами предприятий, с хозяйственно-бытовыми водами и т. п. Однако значительные содержания УВ в природных системах обеспечиваются и прижизненными выделениями макро- и микроорганизмов, а также в результате посмертного их разложения [Паничева и др., 2012]. Увеличению содержания НП в компонентах водных объектов уделяется особое внимание, поскольку они обладают высокой токсичностью, мутагенными, канцерогенными свойствами и оказывают долговременное негативное воздействие на окружающую среду [Aguilera et al., 2010]. Объективное определение фоновых и аномальных значений содержания потенциально токсичных веществ – одна из важнейших задач геоэкологии [Савичев, Нгуен, 2015; Тепаносян и др., 2017].

Нефть и продукты ее переработки представляют собой чрезвычайно сложную, непостоянную и разнообразную смесь веществ: низко- и высокомолекулярные предельные, непредельные алифатические, нафтеновые, ароматические углеводороды, кислородные, азотистые, сернистые соединения, а также комплексные гетероциклические соединения типа смол, асфальтенов, асфальтеновых кислот. Поэтому в аналитической гидрохимии задача определения нефти и НП в компонентах природных водных экосистемах является одной из наиболее сложных, и, несмотря на многолетние и многочисленные исследования, по многим аспектам она продолжает оставаться нерешенной [Термердашев и др., 2017]. ГОСТ 26098-84, 2010 определяет нефтепродукт как готовый продукт, полученный при переработке нефти, газоконденсатного, углеводородного и химического сырья. Однако в гидрохимии понятие НП условно ограничивается только углеводородной фракцией (алифатические, ароматические, алициклические углеводороды). Еще в 1968 г. Комиссией по унификации методов анализа стран СЭВ принято ограничение термина “нефтепродукты” суммой неполярных и малополярных соединений растворимых в гексане и не сорбирующихся на оксиде алюминия [Лурье, 1984]. З. А. Термердашев с соавторами [2017] справедливо отмечают, что при таком подходе оценивается не нефтяное, а углеводородное загрязнение объекта.

При экологической оценке состояния водных экосистем наиболее информативным объектом

исследования являются ДО, так как УВ, поступая в водоем и аккумулируясь в ДО, могут дать важную информацию об источнике и уровне загрязнения [Baran et al., 2018]. Нормативы допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации (ДОСНП) в почвах и донных отложениях водных объектов после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ единые для всей территории Российской Федерации отсутствуют. Для принятия таких нормативов необходимо установление фоновых содержаний УВ, которые очень различаются и зависят от ландшафтных, почвенных, растительных, гидрологических, мерзлотных и других условий [Иванов и др., 2020]. В ряде регионов России разработаны региональные нормативы (например, для водных объектов Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, Обь-Иртышского бассейна, Санкт-Петербурга). По мнению авторов, наиболее приемлемыми являются региональные нормативы Ненецкого автономного округа [Нормативы..., 2011].

На сегодняшний день, имеется ряд методик определения УВ в почвах и ДО дифференциальными (хроматография, хромато-масс-спектрометрия) или интегральными (гравиметрия, ИК-спектроскопия, люминесценция) методами [Леоненко и др., 2010]. Интегральные методы проще, дешевле и, что наиболее важно, аттестованы. Однако ни один из перечисленных интегральных методов не позволяет получить детальную картину качественного и количественного состава УВ.

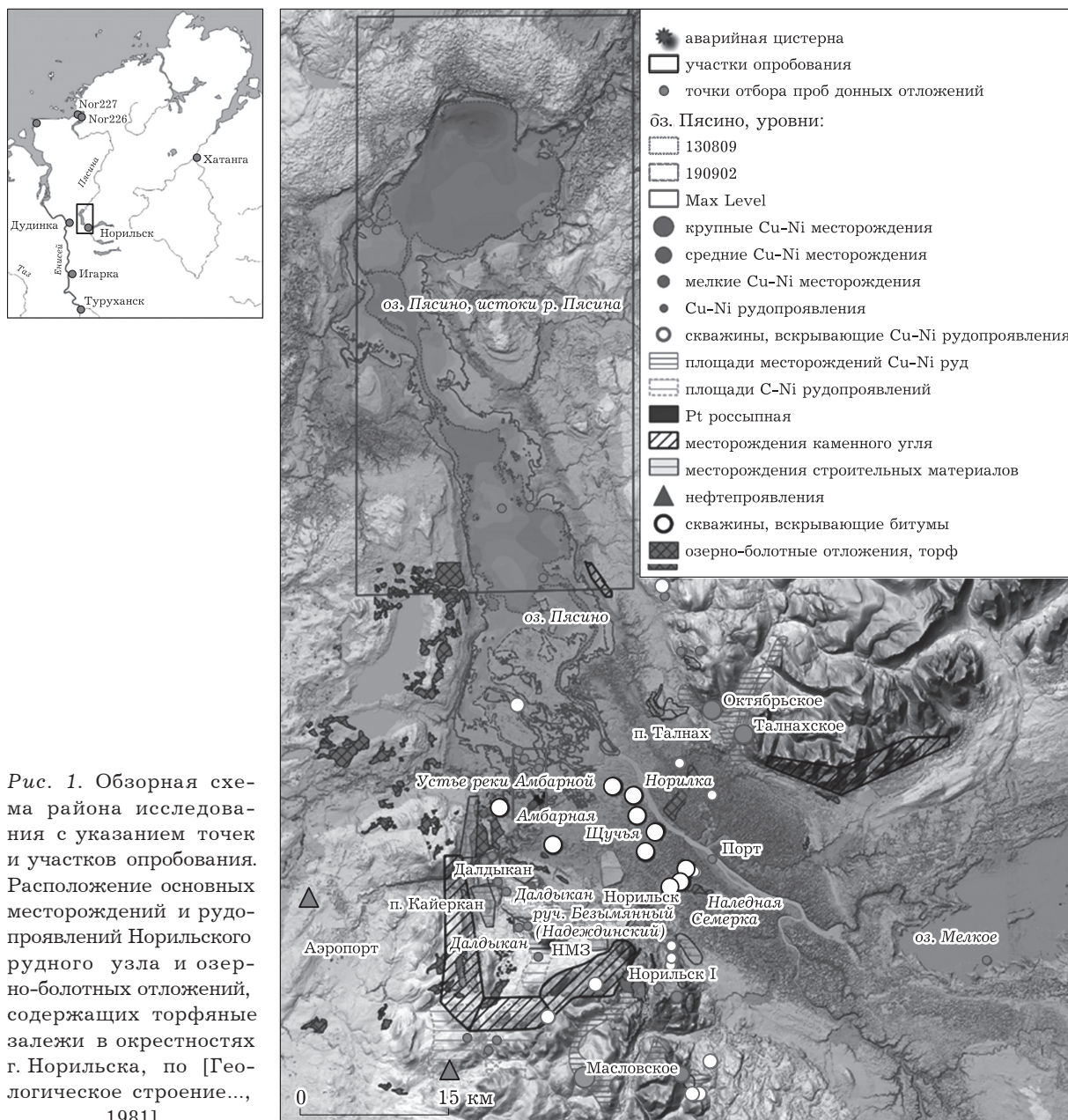
Методики определения УВ в донных отложениях, основанные на гравиметрии [ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3:3.64-10, 2010], флуориметрии [ПНД Ф 16.1:2.21-98, 2012] и ИК-спектрометрии [ПНД Ф 16.1:2.2.22-98, 2005], позволяют получить информацию о суммарном содержании неполярных и малополярных УВ. Однако с помощью этих методов нельзя идентифицировать индивидуальные углеводороды и тип топлива в целом [Другов и др., 2007]. Кроме того, в работе [Nadim et al., 2002] на примере реальных и стандартных образцов показано, что метод ИК-спектроскопии является более экспрессным, но дает завышенное содержание УВ по сравнению с газовой хроматографией (ГХ), что связано с измерением фонового сигнала донных отложений. Кроме этого данный метод позволяет определить только

общее содержание УВ. Задачи определения количественного содержания и идентификации индивидуальных УВ решают с помощью ГХ, которая является самым эффективным методом определения УВ и позволяет устанавливать источник их поступления в окружающую среду. Метод ГХ – наиболее подходящий для определения состава бензинов, керосинов, дизельного топлива, смазочных масел.

29 мая 2020 г. произошел разлив дизельного топлива (ДТ) из резервуара хранения на ТЭЦ-3 АО “НТЭК” г. Норильска. По информации Единой дежурно-диспетчерской

службы в резервуаре находилось 21 163 м³ нефтепродуктов. В результате ДТ попало в систему водотоков “ручей Безымянный (Надеждинский) – р. Далдыкан – р. Амбарная”, которые являются одними из многочисленных, питающих оз. Пясина. Само озеро имеет единственный сток, который осуществляется через р. Пясино, впадающую в Карское море (рис. 1). Река Пясино представляет собой одну из крупных северных рек и имеет протяженность 818 км.

Целью данной работы была оценка уровня загрязнения донных отложений системы “ру-



чей Безымянный (Надеждинский) – р. Далдыкан – р. Амбарная – оз. Пясино – р. Пясино” углеводородами с использованием методов флуориметрии и ГХ, а также установление состава углеводородов в дизельном топливе, попавшем в водную экосистему в результате аварии на ТЭЦ-3 АО “НТЭК” г. Норильска, и сравнение его с составом углеводородов донных отложений по пути предположительного следования пятна дизельного топлива и на не затронутых разливом участках.

Принимая во внимание вышесказанное, далее в работе будет обсуждаться содержание в донных отложениях не нефтепродуктов, а углеводородов. При отсутствии нормативов о допустимом содержании НП и/или УВ в Красноярском крае авторами проведено сравнение с региональными нормативами Ненецкого автономного округа, поскольку регион близок Норильскому району по климатическим условиям – оба региона находятся в зоне субарктического климата [Нормативы..., 2011].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В экспедиционный период 2020 г. (август) опробованы аллювиальные отложения водотоков, в которые попало дизельное топливо из резервуара ТЭЦ-3 АО “НТЭК” г. Норильска.

Отбор и консервацию проб донных отложений проводили согласно ГОСТ 17.1.5.01-80 “Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность”. Доставку из г. Норильска до г. Красноярска осуществляли воздушным транспортом в замороженном виде в термоконтейнере.

Отбор проб осуществляли согласно заранее подготовленной картографической схеме местности, начиная с места аварии по системе “руч. Безымянный (Надеждинский) – р. Далдыкан – р. Амбарная – оз. Пясино – исток р. Пясино – устье р. Пясино” (см. рис. 1). На каждом участке исследуемой территории отобраны фоновые пробы ДО вне указанной системы водотоков и водоемов. Фоновыми выбранными ДО оз. Мелкого, р. Норильской, р. Далдыкан (выше устья руч. Безымянного), р. Амбарной (выше устья р. Далдыкан), небольшое безымянное озеро рядом с устьем р. Пясино.

Для выявления степени вертикального просачивания дизельного топлива в ДО ото-

браны 5 колонок. Для бурения использовалось разработанное в ИГМ СО РАН оборудование, состоящее из надувного понтона водоизмещением около 5 т, вышки с грузоподъемными механизмами, бура общей длиной 30 м с набором штанг. Оборудование и технология рассчитаны на бурение в водоемах с глубинами до 10–15 м и проникновение в придонные отложения на 15–20 м. Принцип бурения вибрационный. Используется модифицированный поршневой бур Ливингстона, позволяющий брать колонки ненарушенного осадка. Колонки отбирались модифицированным пробоотборником со сменными пластиковыми трубами длиной 1 м и диаметром 6,5 см. Пробоотборник размещался на 10 см выше дна и забирал в себя не только отложения, но и придонную воду. Тем самым обеспечивался ненарушенный отбор верхней неконсолидированной (водонасыщенной) части отложений. После подъема колонки трубу отсоединяли, в ней сверлились отверстия выше уровня грунта для слива воды. Затем труба герметизировалась. Все операции совершались с сохранением вертикального положения трубы. Колонки укреплялись в вертикальном положении и так транспортировались в г. Новосибирск. Керны вскрывались только после того, как верхний слой отложений терял воду и уплотнялся. Колонки отбирались в южной котловине оз. Пясино, в устье р. Амбарной и юго-западной части оз. Мелкое (см. рис. 1).

Пробы аллювиальных отложений, находившиеся на момент отбора на берегу, а в момент аварии в паводок под водой, отбирали стандартным стальным кольцом (высота 50 мм, диаметр 82 мм, объем 264 см³), применяемым при экогеохимических исследованиях [Требования..., 1990; Shcherbov et al., 2008]. Кольцо впрессовывали в верхние 5 см отложений и изымали с содержимым. Образец целиком упаковывали в пластиковый контейнер, замораживали в тот же день и транспортировали в ИХХТ СО РАН (г. Красноярск).

Определение общего содержания УВ флуориметрическим методом проводили в аккредитованной лаборатории Сибирского федерального университета с использованием жидкостного флуориметрического анализатора “Инфралом ФТ-08” по методике, указанной в ПНД Ф 16.1:2.2.21-98. Градуировку прибора осуществляли согласно методике, приведенной

в указанном природоохранном нормативном документе по государственному стандартному образцу (ГСО 7950-2001) раствора нефтепродуктов в гексане (1 мг/см³, погрешность аттестованного значения не более ±3 %).

Предподготовку образцов к измерению методом ГХ осуществляли по той же методике, что и для флуориметрического анализа.

Газохроматографическое определение содержания УВ в донных отложениях включало в себя проведение следующих операций:

- экстракция органических веществ из образца хлороформом;

- замена растворителя (хлороформа) на гексан и последующее выделение УВ фракций методом колоночной хроматографии;

- хроматографирование на капиллярной колонке и детектирование на пламенно-ионизационном детекторе (ПИД) для количественного определения суммарного содержания УВ в образце, для качественного определения состава – детектирование на масс-селективном детекторе (МС).

Количественное определение общего содержания УВ в донных отложениях методом ГХ проводили на хроматографическом комплексе “Хромос ГХ-1000”. Деление углеводородной смеси осуществлялось на кварцевой капиллярной колонке “ХромосибSt-5”, регистрацию компонентов производили на ПИД.

Условия ГХ метода. Температурная программа термостата колонок: начальная температура 35 °С, выдержка на начальной температуре – 4 минуты, подъем температуры до 280 °С со скоростью 20 °С/мин, выдержка на конечной температуре – 44 минуты. Суммарное время хроматограммы – 60,5 минуты. Температура испарителя 300 °С, температура детектора 300 °С. Давление газа-носителя 3,00 кгс/см². Программа расхода газа-носителя: начальный расход – 3,00 см³/мин, выдержка начального расхода – 3 мин, увеличение расхода до 30 см³/мин со скоростью 10 (см³/мин)/мин. Расход вспомогательных газов: водород – 35 см³/мин, воздух – 350 см³/мин.

Градуировка производилась растворами ДТ из резервуара Норильской ТЭЦ-3АО “НТЭК” с добавлением углеводородного масла ВМГЗ в соответствии с методикой ГОСТ 31953-2012.

Количественный состав индивидуальных *n*-алканов рассчитывали по следующей формуле:

$$C_{n\text{-алкана}} = \frac{S_a}{\sum S_i} C_{УВ}, \quad (1)$$

где S_a – площадь пика *n*-алкана на хроматограмме; $\sum S_i$ – сумма всех пиков на хроматограмме; $C_{УВ}$ – общее содержание УВ, мг/кг, определенное методом ГХ. Визуальное отображение данных по содержанию УВ выполнено с помощью программы QGis 3.14. Индивидуальный компонентный состав УВ фракций хлороформенных экстрактов донных отложений определяли на газовом хроматографе Agilent 7890A с квадрупольным масс-детектором Agilent 7000A с использованием капиллярной колонки HP-5ms 30 м × 0,25 мм × 0,25 мкм. Температурная программа: начальная температура колонки 40 °С, изотерма в течение одной минуты, со скоростью подъема 7 °С/мин до 250 °С, до 310 °С со скоростью подъема 4 °С/мин, изотерма при 310 °С 5 мин. Газ-носитель – гелий, расход газа-носителя через колонку 1 см³/мин. Температура испарителя 300 °С, температура интерфейса 310 °С. Общее время анализа составляет 51 минуту. Регистрацию масс-хроматограмм проводили в следующем режиме. Сканирование в диапазоне *m/z* от 40 до 400, время регистрации данных 0,1 с, энергия ионизации электронов 70 эВ, температура квадрупольного поля 150 °С, ионного источника 230 °С. Обработку полученных хроматограмм проводили с использованием техники масс-фрагментограмм, которая основана на избирательном детектировании одного или нескольких ионов с заданными массами, с помощью ЭВМ [Бродский и др., 2014]. Идентификацию индивидуальных соединений проводили с использованием базы данных прибора NIST MS Search 2.0, а также системы индексов удерживания предложенной Е. Ковачем [Kováts, 1958].

Характеристика района исследования

Норильский район представляет собой крупный рудный узел и включает в себя уникальные сульфидные Cu-Ni месторождения: Норильск-I (открытие зарегистрировано в 1920 г.), Талнахское (1960), Октябрьское (1965), а также: Норильск-II (1926), Горозубовское (1940), Имангдинское (1940), Черногорское (1943) и большое количество рудопроявлений (см. рис. 1). Известные в Норильском

районе рудоносные интрузии и связанные с ними Cu-Ni месторождения практически все имели выход на дневную поверхность и были обнаружены в обнажениях [Лихачев, 2020]. Помимо сульфидных руд известны крупные угольные месторождения и месторождения строительных материалов (см. рис. 1) [Малич и др., 1987], что делает эту территорию крайне привлекательной для разработки. Кроме того, в районе известны нефтепроявления, и скважинами вскрыты природные битумы в долине р. Норильской. Совокупность перечисленных факторов позволяет предполагать повышенный природный фон углеводородов.

Современный рельеф исследуемой территории и чехол рыхлых отложений сформировались в плейстоцене в основном под воздействием оледенения [Стрелков, 1965]. Выводные ледники, стекавшие с локального центра оледенения на плато Путорана, выпаживали существовавшие долины, расширяя и углубляя их. На поверхности видны следы оледенения позднего плейстоцена, имевшего несколько ледниковых событий в течение последних 100 тыс. лет. Их проявлениями являются конечно-моренные валы, гряды на выходе долин из гор. Выпаханные ледником котловины заполнились водой, образовался Норильский каскад мореноподпрудных озер – Лама, Мелкое и Пясино. Каждое озеро отгорожено собственной грядой и связано с отдельной стадией оледенения. Считается, что весь рельефообразующий комплекс ледниковых и ледниково-озерных отложений западной окраины Путорана имеет сартанский возраст [Исаева и др., 1976], дегляциация началась около 20 тыс. лет назад и окончилась 11,7 тыс. лет назад с наступлением современного голоценового межледникового времени.

Основными почвообразующими породами района являются четвертичные ледниковые отложения на возвышенностях и озерные отложения в долине р. Норильской. Незначительный объем составляют аллювиальные отложения, залегающие в руслах рек. Низменности района заболочены, и в них накапливаются озерно-болотные отложения, содержащие торф. Особенно большую площадь торфяники занимают в долине и пойме р. Амбарной.

Все мореноподпрудные озера Норильского района проточные. В прошлом эти озера были значительно больше и глубже и уменьшались

по мере эрозии порога стока. Современная динамика озер зависит от водности рек, собирающих атмосферные осадки с водосборного бассейна. Осенью озера сильно мелеют, особенно Пясино. Если при максимальном уровне озера площадь водной поверхности составляет 742,7 км², то при минимальном, который зафиксирован в августе 2013 г., – 347,8 км² (см. рис. 1). При минимальном уровне значительная часть дна озера осушается, остаются три котловины – южная, средняя и северная, соединенные протоками.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнение данных определения углеводородов флуориметрическим методом и методом газовой хроматографии

Данные о содержании УВ в донных отложениях, полученные флуориметрическим (ФЛ) методом и методом ГХ в целом демонстрируют одинаковые закономерности снижения/увеличения концентраций. В первом случае содержания по всей выборке колеблются от 13 до 18 800 мг/кг, во втором – от 22 до 10 803 мг/кг (рис. 2). Содержания в отложениях р. Далдыкан (Nor-214), выше впадения руч. Безымянного, составляют 80 мг/кг по данным ФЛ и 43 мг/кг по данным ГХ (рис. 2, 3). В отложениях руч. Безымянного, отобранных в нескольких метрах выше по течению от зоны загрязнения (Nor-052), содержания УВ ниже – 41 и 33 мг/кг (ФЛ и ГХ соответственно). Оба использованных метода показывают увеличение содержания УВ в донных отложениях руч. Безымянного, загрязненных ДТ. Концентрации в ручье в непосредственной близости от места разлива колеблются по данным ФЛ от 92 до 440 мг/кг, по данным ГХ – от 215 до 529 мг/кг (см. рис. 2, 3).

Для участка Далдыкан (впадение р. Далдыкан в р. Амбарную, рис. 4) фоновыми приняты содержания в отложениях р. Амбарной, выше устья р. Далдыкан (Nor-216). Содержания УВ по данным двух методов составили 128 мг/кг (ФЛ) и 46 мг/кг (ГХ). Содержания в донных отложениях водотоков, пострадавших от разлива ДТ, очень различаются. Так, в р. Далдыкан, выше впадения в р. Амбарную, со-

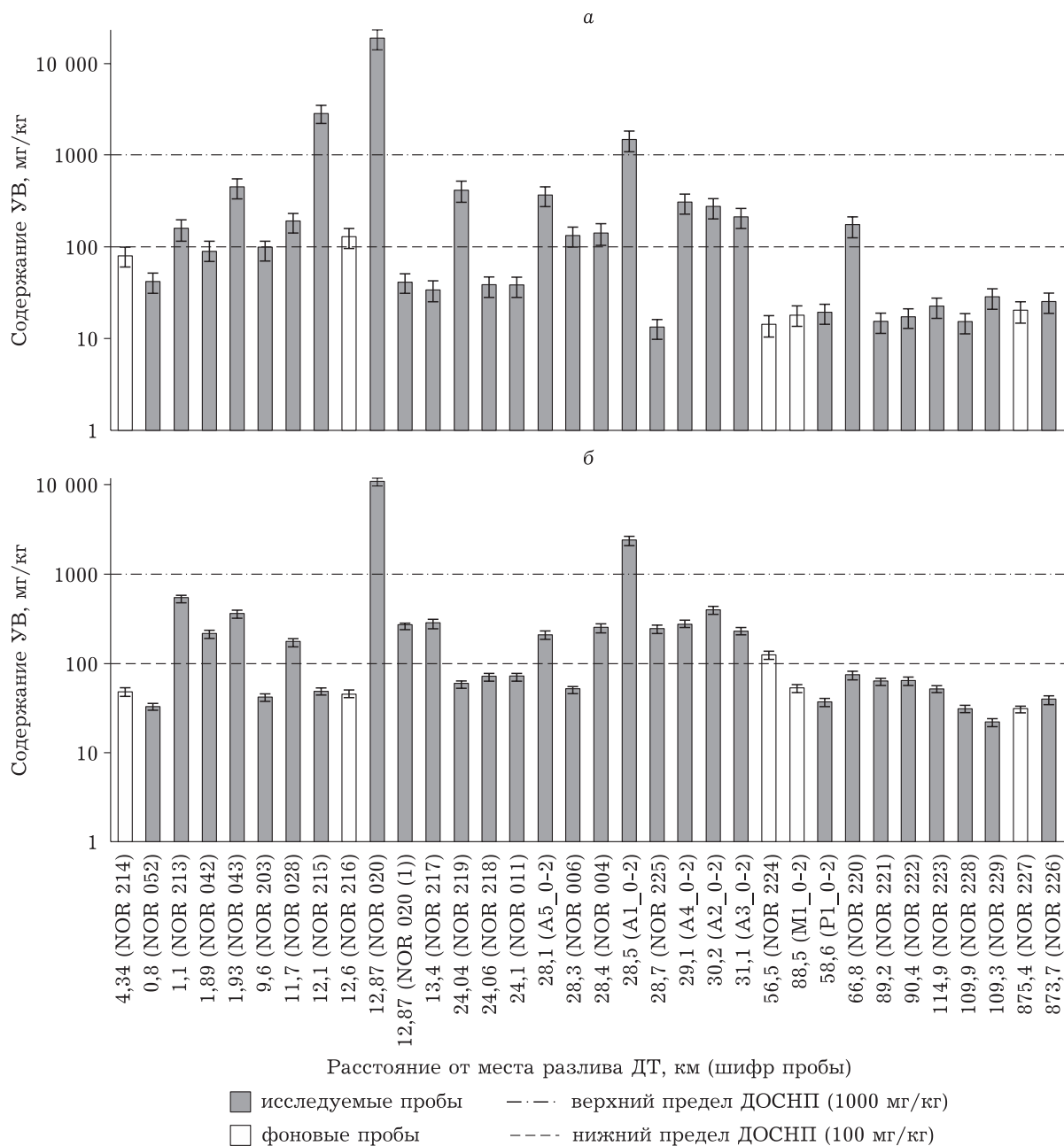


Рис. 2. Общее содержание углеводородов в пробах донных отложений в зависимости от расстояния от места аварии, полученное флуориметрическим (а) и газохроматографическим (б) методом. ДОСНП – региональные нормативы допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах и донных отложениях водных объектов после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ на территории Ненецкого автономного округа

держания УВ колеблются от 93 до 2790 мг/кг по данным ФЛ и от 42 до 171 мг/кг по данным ГХ. Поскольку результаты показывают хорошую сходимость, можно предположить, что значение 2790 мг/кг в точке Nor-215, полученное методом ФЛ, является аналитической неточностью. Метод ГХ в этой точке по-

казал содержание 49 мг/кг (см. рис. 2). Авторы исключают возможность резкой неравномерности распределения УВ в веществе, на данном этапе не вполне понятны причины столь сильного расхождения.

Содержание УВ в донных отложениях р. Амбарной ниже впадения р. Далдыкан

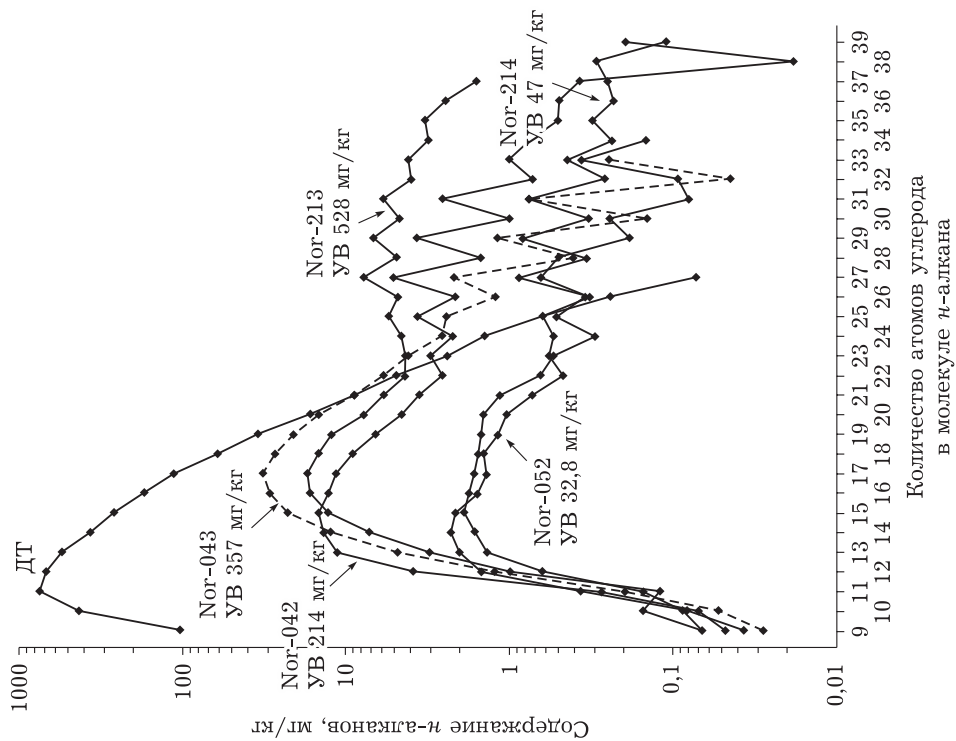
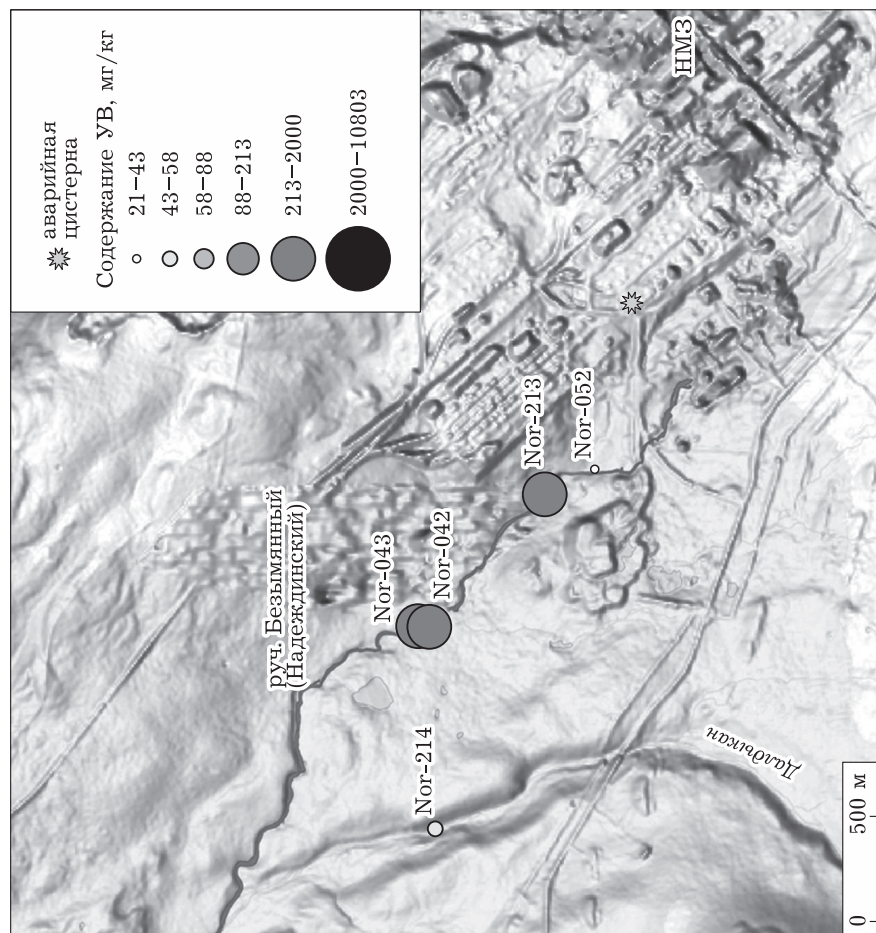


Рис. 3. Схема точек отбора донных отложений участка руч. Безымянный с указанием содержания углеводородов, определенного газохроматографическим методом (слева), а также распределение *n*-алканов в донных отложениях и дизельном топливе (DT), нормированное на их суммарное содержание (справа). Содержание УВ на графиках приведено по данным ГХ

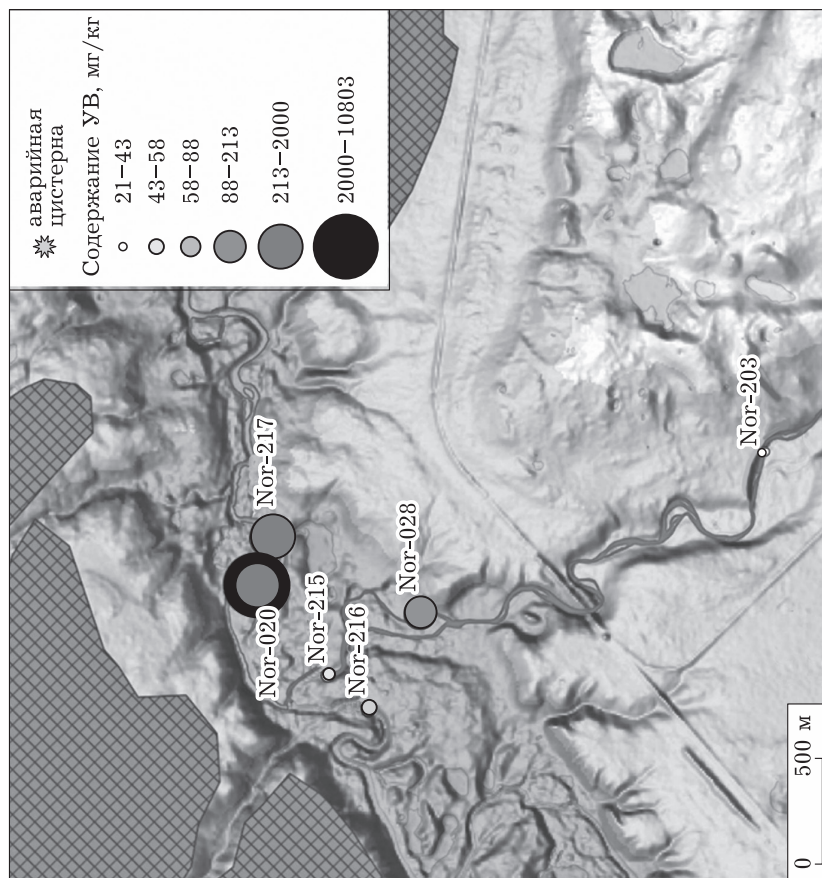
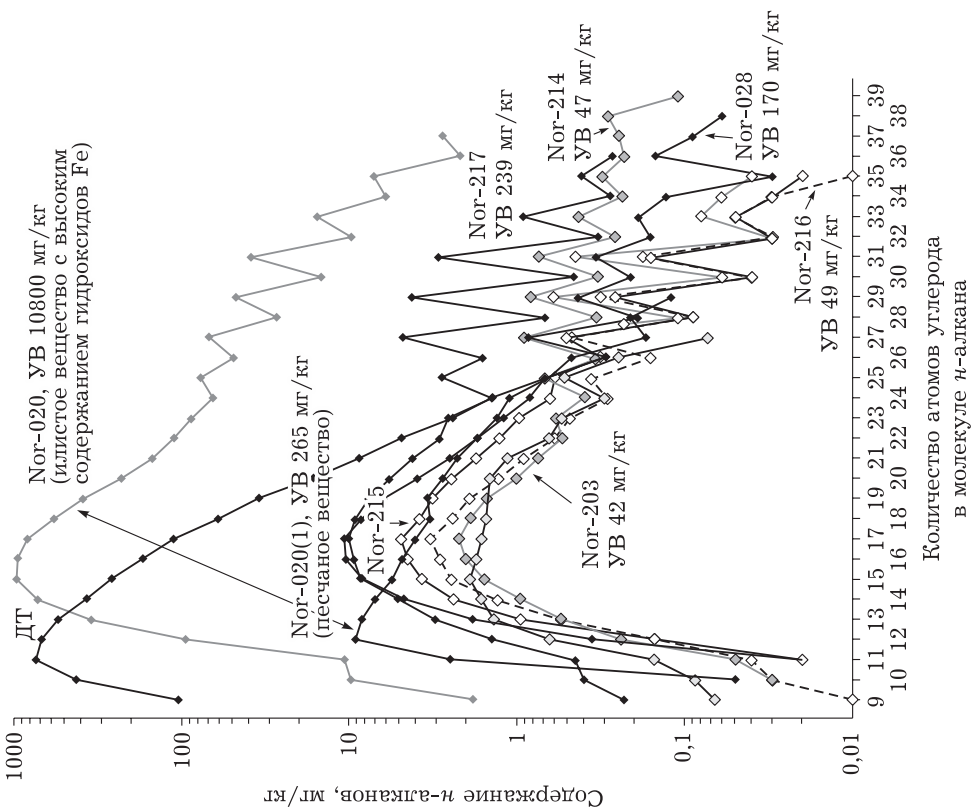


Рис. 4. Схема точек отбора донных отложений участка р. Далдыкан с указанием содержания углеводородов, определенного газохроматографическим методом (слева), а также распределение n-алканов в донных отложениях и дизельном топливе (ДТГ), нормированное на их суммарное содержание (справа). Содержание УВ на графиках приведено по данным ГХ

по данным метода ФЛ в основном невысокие – 34 и 41 мг/кг, а по данным ГХ намного превышают содержания в фоновой точке – 265 и 284 мг/кг (точки Nor-020 и 217). Но оба метода указывают на очень высокую концентрацию в точке Nor-020(1) – 18800 и 10803 мг/кг (ФЛ и ГХ, см. рис. 2). Точки Nor-020 и Nor-020(1) находятся менее чем в метре друг от друга, но в первом случае опробовано песчаное вещество, а во втором – илистое с высоким содержанием гидроксидов Fe. Очевидно, что уровень загрязнения зависит от состава, гранулометрических характеристик, сорбционных свойств донного вещества, однако выявление этих зависимостей является задачей для будущего исследования.

Участок в устье р. Амбарной был опробован максимально подробно. Донные отложения отобраны до боновых заграждений, установленных для задержания ДТ и после них (рис. 5). Помимо точечных проб отобраны колонки донных отложений. До боновых заграждений содержания колеблются от 38 до 410 мг/кг по данным ФЛ и от 59 до 72 по данным ГХ (см. рис. 2). Значительное различие в данных наблюдается в точке Nor-219–410 мг/кг (ФЛ) и 59 мг/кг (ГХ). За исключением единичного анализа, содержания УВ до бонов сравнительно невысокие. Намного выше содержания в донных отложениях установлены на участке, который заливадается в половодье. Концентрации тут составили от 130 до 1460 мг/кг по данным ФЛ и от 51 до 2375 мг/кг по данным ГХ. Следует отметить, что более высокие содержания показывают пробы, отобранные из верхних двух сантиметров колонок донных отложений (см. рис. 2). Как показали дальнейшие исследования, максимально загрязненными УВ оказались именно верхние сантиметры донных отложений. Различия в содержании УВ на участке руч. Безымянный – р. Далдыкан – р. Амбарная, вероятно, связаны не только с различиями в гранулометрическом составе вещества, но зависят и от особенностей течения рек на различных участках, что требует дополнительных исследований.

Помимо точек Nor-214 и Nor-216 были отобраны дополнительные фоновые точки – колонка в оз. Мелком и точечная проба Nor-224, рядом с гидропортом Валек и старым аэропортом. Место выбрано для характеристики антропогенного городского за-

грязнения. В верхнем 2-сантиметровом слое донных отложений оз. Мелкого (колонка М1) содержания УВ ниже, чем в отложениях рек Далдыкан и Амбарной, не загрязненных ДТ, – 18 мг/кг (ФЛ) и 53 мг/кг (ГХ, см. рис. 2), что ожидаемо, поскольку место отбора проб находится вдалеке от города, и антропогенный фон здесь должен быть минимальным. В точке Nor-224 в отложениях р. Норилки, в районе вероятного антропогенного загрязнения, по данным ФЛ-метода содержания УВ невысокие – 14 мг/кг, а по данным ГХ-метода – значительные – 124 мг/кг (см. рис. 2).

Содержания УВ в донных отложениях оз. Пясино, р. Пясино (в истоке) невысокие. Почти во всех изученных точках содержания, которые получены методом ГХ, выше (от 22 до 64 мг/кг), чем полученные методом ФЛ (15–28 мг/кг). Исключение составляет точка Nor-220, где по данным ФЛ содержание УВ в донных отложениях составляет 169 мг/кг, а по данным ГХ – 74 мг/кг.

Содержания УВ в отложениях устья р. Пясино, полученные обоими методами, близкие и невысоки – 25 мг/кг (ФЛ) и 39 мг/кг (ГХ), причем содержания в отложениях ближайшего бессточного озера, которые были отобраны для сравнения, оказались очень близкие – 20 и 31 мг/кг.

Определение фоновых и аномальных концентраций элемента или компонента в окружающей среде – это важная задача, требующая однородного массива данных и значительной выборки [Савичев и Нгуен, 2015; Тепаносян и др., 2017]. В данном исследовании для сравнения выбраны четыре точки. Содержания в них колеблются от 14 до 128 мг/кг по данным ФЛ и от 46 до 128 мг/кг по данным ГХ. В зоне разлива ДТ в 14 точках опробования содержание 128 мг/кг (максимальное, установленное в незагрязненных ДТ отложениях) было превышено. Но высокие содержания УВ установлены не далее чем в устье р. Амбарной. В донных отложениях оз. Пясино и р. Пясино содержания ниже или на уровне тех, что установлены в фоновых точках.

Нормативы ДОСНП в почвах и донных отложениях водных объектов на территории НАО [Нормативы..., 2011] существенно различаются для различных типов ДО водных объектов. Так, значение ДОСНП, наименьшее для минеральных ДО, составляет 100 мг/кг,

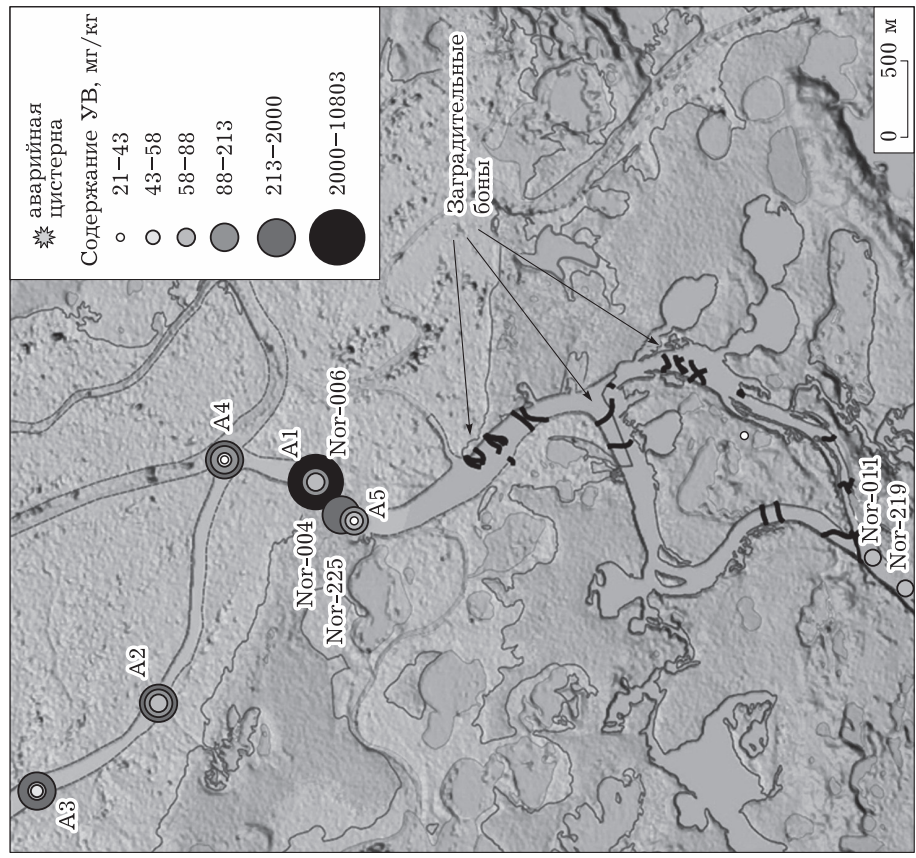
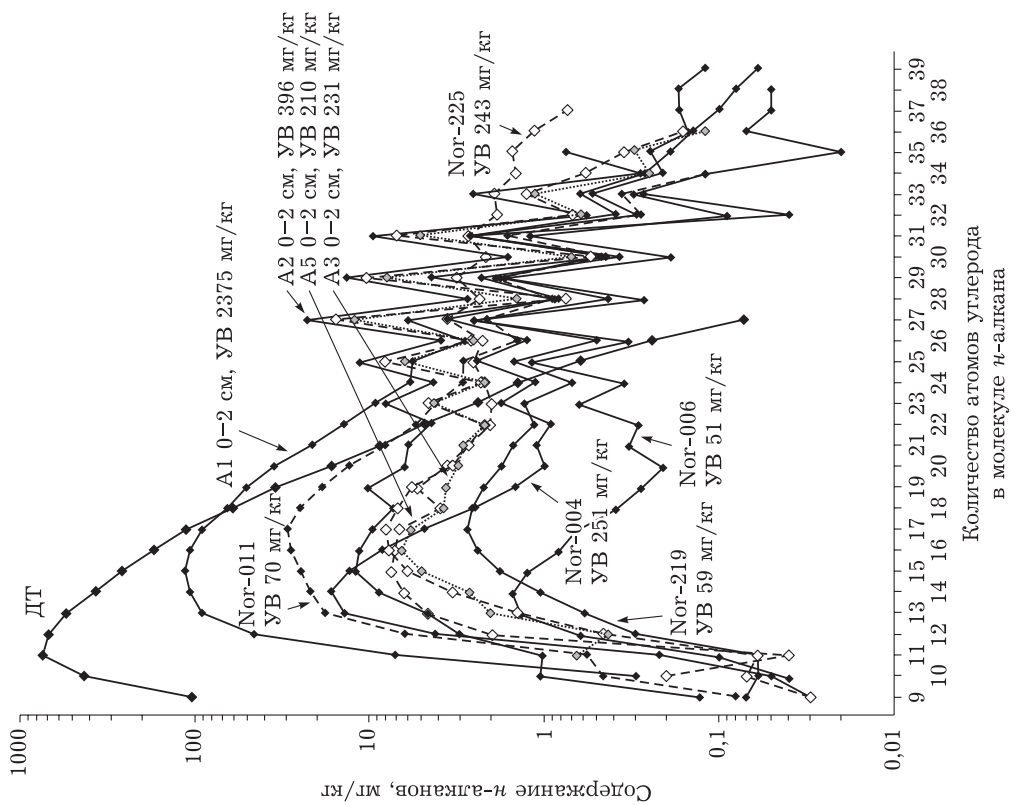


Рис. 5. Схема точек отбора донных отложений участка р. Амбарной с указанием содержания углеводородов, определенного газохроматографическим методом (слева), а также распределение *n*-алканов в донных отложениях и дизельном топливе (ДТ), нормированное на их суммарное содержание (справа). Черными линиями на схеме указано положение заградительных бонов. Обозначения Nor относятся к единичным точкам, A1, A2, A3, A4, A5 – колонки донных отложений. Содержание UB на графиках приведено по данным ГХ

максимальное значение установлено для органических ДО (1000 мг/кг). Содержания УВ на участке руч. Безымянный – р. Далдыкан – р. Амбарная в 14 точках исследования превышают минимальное значение ДОСНП 100 мг/кг, но максимальное – 1000 мг/кг, превышают только в трех точках по данным ФЛ и в двух – по данным ГХ (см. рис. 2).

Анализ дизельного топлива методом ГЖХ-МС

Для более точной идентификации загрязнения донных отложений дизельным топливом методом газовой хроматографии в комплексе с хромато-масс-спектрометрическим анализом исследовано ДТ из резервуара ТЭЦ-3 АО «НТЭК» г. Норильска. При помощи соответствующих масс-фрагментограмм (рис. 6) получена информация о наличии в нем различных классов соединений. Основными компонентами исследуемого ДТ являются нормальные и изоалканы (табл. 1). Распределение нормальных парафинов описывается кривой Гаусса. При этом в ДТ содержатся *n*-алканы от C9 до C26, а их распределение имеет максимум в области C11 – C12 (см. рис. 6, б). Циклоалканы представлены в основном алкилциклогексанами, и их содержание составляет около 8,6 % (см. рис. 6, в), обнаружены и моноциклические ароматические углеводороды (14,7 %) – бензол и его гомологи (см. рис. 6, г).

Нафталин, фенантрен и их алкилпроизводные также содержатся в ДТ в заметных количествах (см. рис. 6, ж, з). Доля олефинов не превышает 1,2 % (см. табл. 1).

Участок руч. Безымянного (Надеждинского)

Данные о распределении алканов нормального строения в донных отложениях, загрязненных ДТ (Nor-213, Nor-042, Nor-043), показывают смещение максимума в диапазоне C9 – C22 с C11 (ДТ) в более тяжелую область C14 – C17 (ДО). Можно предположить, что смещение максимума распределения происходит за счет выветривания и биодegradации более легких углеводородов. Более тяжелая фракция УВ, начиная с C22, показывает «пилообразный» рисунок их распределения

с преобладанием нечетного количества атомов углерода в молекулах *n*-алканов, что соответствует биогенному происхождению УВ современных осадков [Peters et al., 2007; Каширцев и др., 2018]. Аналогичное распределение характерно и для фоновой пробы ДО (Nor-214), и для ДО руч. Безымянного, расположенных выше загрязнения (Nor-052). При этом в загрязненных ДО содержания *n*-алканов от C11 до C22, соответствующих ДТ, примерно на порядок выше, следовательно, причиной повышенных содержаний УВ в ДО руч. Безымянного является именно ДТ.

Основную долю УВ во всех пробах участка составляют *n*-алканы (см. табл. 1). В образце Nor-213 преобладают ароматические соединения, которые в сумме составляют свыше 33 %, а почти 12 % приходится на полиароматические УВ. Также отмечается превышение в 2 раза доли циклоалканов по сравнению с ДТ и в 1,5 раза по сравнению с фоновой точкой. Доля олефинов в образцах ДО не превышает фоновое значение для данного участка (1,42 %), а также их содержание в ДТ (1,20 %), исключением является образец Nor-213, в котором она составляет 2,07 %.

Отношения ациклических изопреноидов (Pr/Ph) в донных отложениях находятся в диапазоне 0,9–1,17, что ниже, чем в ДТ (1,38), и ближе к соотношению, установленному в фоновой точке. Отношения Pr/*n*-C17 и Ph/*n*-C18 в пробах участка Безымянного близко единице, как и для ДТ (0,86 и 0,93). Исключение составляет проба Nor-052, в которой значительно преобладают алканы нормального строения. Следовательно, помимо ДТ в загрязненных участках донных отложений присутствуют другие УВ.

Участок р. Далдыкан

В донных отложениях участка р. Далдыкан установлены закономерности распределения *n*-алканов, аналогичные тем, что описаны для участка руч. Безымянного (см. рис. 4). Стоит отметить, что происходит незначительное увеличение доли тяжелой фракции, начиная с C22, по сравнению с фракцией C11 – C22. Исключение составляет проба Nor-020, которая содержит максимальное количество УВ со значительным преобладанием более легкой фракции, соответствующей ДТ. Отсюда

Углеводородный состав ДТ с резервуара ТЭЦ-3 АО "НТЭК" г. Норильска и хлороформенных экстрактов донных отложений

Шифр проб	Расстояние, км	n-Алканы	Изоалканы	Циклоалканы	Олефины	Инданы	Тетралины	Бензол и гомологи	Нафталин и гомологи	Фенантрен и гомологи	Pr/Ph	Pr/n-C 17	Ph/n-C 18
ДТ	-	52,53	14,52	8,57	1,20	0,19	0,15	14,7	6,29	1,79	1,38	0,86	0,93
Участок руч. Безымянного (Надеждинского)													
Nor-214	Фон	46,82	17,05	11,6	1,42	0,22	0,17	15,09	5,60	1,96	1,09	0,41	0,38
Nor-052	0,8	62,61	11,35	6,74	0,95	0,15	0,12	11,65	4,99	1,42	0,90	0,47	0,50
Nor-213	1,02	32,42	12,78	16,86	2,07	0,32	0,25	21,94	10,14	2,85	1,08	1,05	1,15
Nor-042	1,89	57,55	12,94	7,66	1,08	0,17	0,14	13,18	5,64	1,61	1,17	0,96	1,03
Nor-043	1,93	55,10	13,71	8,09	1,14	0,18	0,15	13,9	5,97	1,70	1,17	0,94	0,96
Участок р. Далдыкан													
Nor-214	Фон	46,82	17,05	11,6	1,42	0,22	0,17	15,09	5,60	1,96	1,09	0,41	0,38
Nor-203	9,57	41,87	12,04	11,89	1,67	0,26	0,21	20,46	8,75	2,49	1,13	1,22	1,26
Nor-208	11,66	38,15	14,04	14,72	1,63	0,26	0,21	19,96	8,54	2,43	1,22	1,12	1,16
Nor-215	12,11	66,83	15,07	10,68	0,65	0,10	0,07	3,72	1,66	0,90	1,09	0,79	0,94
Nor-020	12,87	54,88	16,2	9,04	0,93	0,13	0,10	13,48	4,07	1,16	1,40	0,86	0,89
Nor-020(1)	12,87	13,45	20,75	2,04	0,32	0,26	25,06	10,73	3,05	23,47	1,04	0,44	0,80
Участок р. Амбарной													
Nor-216	Фон	41,22	13,35	15,32	1,72	0,27	0,21	17,39	8,02	2,36	1,23	0,70	0,76
Nor-217	13,38	32,73	12,78	16,86	2,07	0,32	0,25	21,94	10,14	2,85	1,09	0,64	0,65
Nor-218	24,06	43,18	13,92	14,54	1,63	0,26	0,20	16,39	7,40	2,24	1,04	0,95	0,98
N 0r-011	24,09	30,93	13,80	17,81	1,84	0,29	0,23	22,60	9,67	2,75	1,13	0,82	0,86
A5_0-2	28,10	50,76	17,55	12,29	1,04	0,16	0,13	12,41	4,39	1,23	1,35	7,70	9,70
Nor-006	28,36	33,20	10,54	14,65	2,26	0,36	0,28	24,09	11,41	3,20	1,14	1,24	1,83
Nor-004	28,36	34,13	13,45	12,75	2,18	0,34	0,26	23,09	10,68	3,00	1,53	0,92	1,16
A1_0-2	28,50	33,26	22,41	28,52	0,96	0,12	0,09	11,19	2,67	0,75	1,27	1,37	1,49
Nor-225	28,78	32,75	12,62	16,73	2,11	0,34	0,26	21,88	10,26	2,85	1,08	1,05	1,15
A4_0-2	29,1	49,27	19,75	14,28	1,12	0,14	0,11	11,03	3,23	0,93	1,18	1,53	1,82
A2_0-2	30,2	42,41	20,53	19,42	0,80	0,11	0,09	15,34	0,29	0,84	1,32	9,57	9,69
A3_0-3	31,1	36,35	22,62	22,95	0,54	0,08	0,06	16,05	0,81	0,51	1,34	7,45	5,56
Участок оз. Пясино – исток р. Пясино													
Nor-224	Фон	60,22	15,73	10,99	0,91	0,14	0,10	7,51	2,97	1,25	0,79	0,28	0,35
M4_0-2	Фон	41,84	16,77	35,19	0,39	0,05	0,04	4,08	1,22	0,36	0,89	0,52	0,69
P4_0-2	58,6	37,91	15,47	45,52	0,11	0,01	0,01	0,60	0,20	0,07	1,41	1,37	1,05
Nor-220	56,47	50,68	16,09	11,89	1,29	0,20	0,15	12,78	5,03	1,77	0,83	0,39	0,42
Nor-219	55,54	62,61	15,37	10,97	0,82	0,13	0,09	6,15	2,55	1,16	1,06	0,45	0,41
Nor-221	89,22	60,63	15,31	11,28	0,90	0,14	0,10	7,23	3,03	1,34	1,62	0,74	0,63
Nor-222	90,35	62,76	15,37	10,92	0,82	0,12	0,09	6,15	2,55	1,16	1,04	0,35	0,39
Nor-223	109,25	42,15	11,94	14,62	1,75	0,27	0,21	18,24	8,37	2,40	1,10	0,23	0,27
Nor-229	109,87	44,03	11,77	14,17	1,68	0,26	0,20	17,50	8,02	2,31	0,91	0,22	0,41
Nor-228	114,85	54,54	15,12	12,17	1,15	0,18	0,13	10,47	4,45	1,58	1,19	0,42	0,40
Участок Карского моря													
Nor-227	Фон	38,38	12,28	15,52	1,88	0,29	0,23	19,72	9,08	2,58	0,80	0,76	0,93
Nor-226	875,37	77,93	8,75	6,11	0,51	0,08	0,06	4,18	1,65	0,70	0,61	0,04	0,02

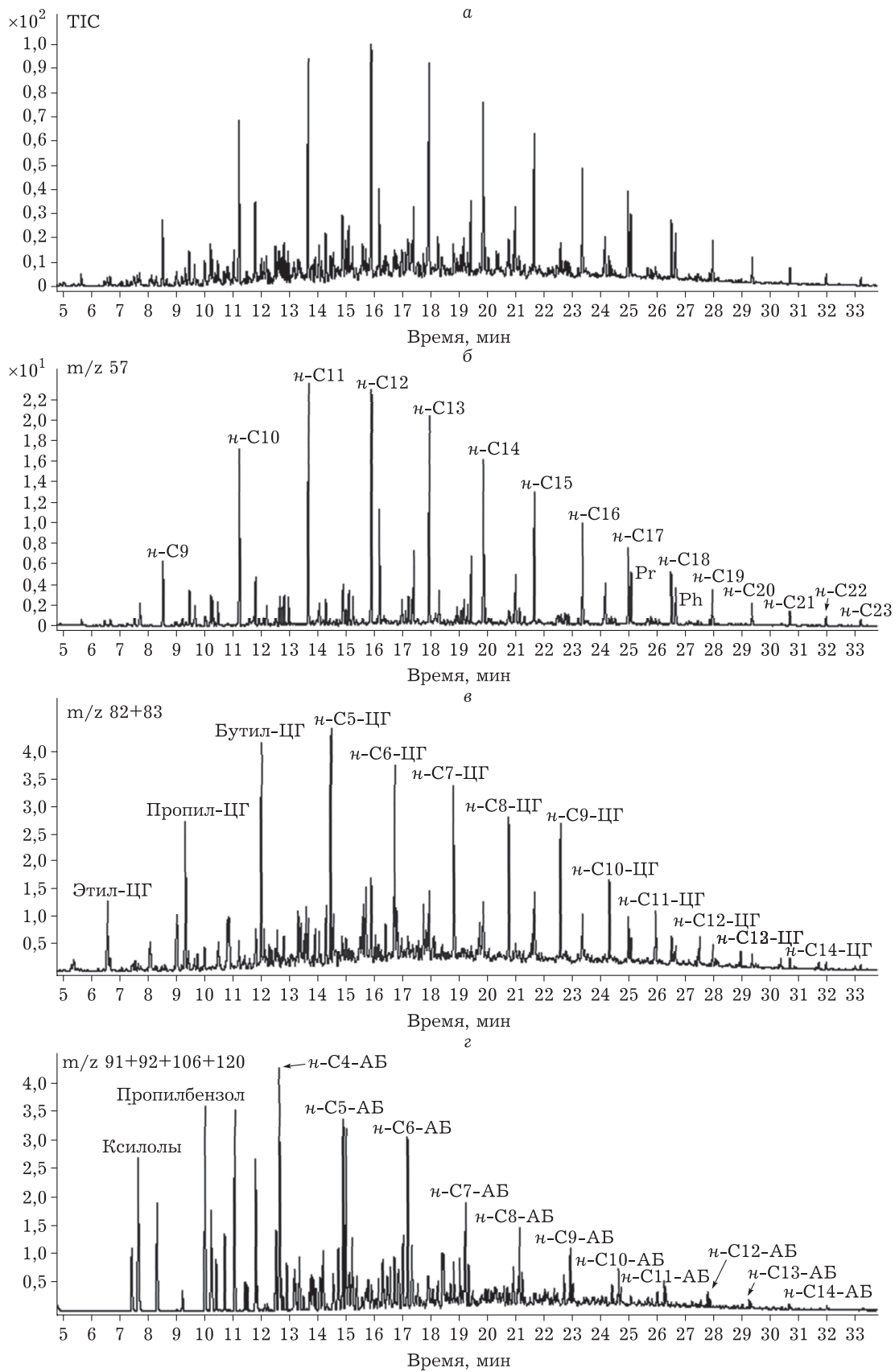


Рис. 6 (начало)

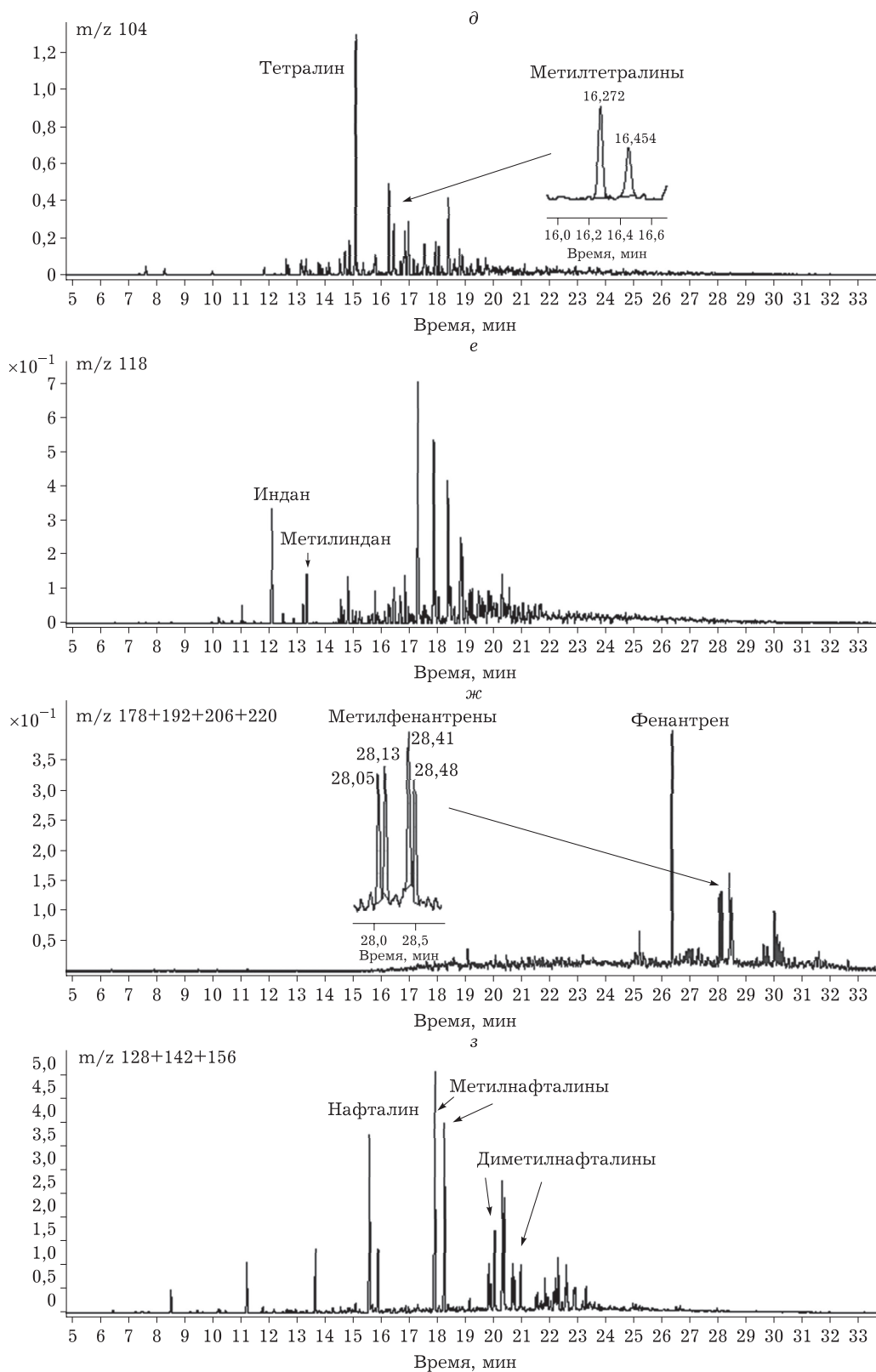


Рис. 6 (окончание). Масс-хроматограмма по полному ионному току (Тис, а) и масс-фрагментограммы дизельного топлива с резервуара ТЭЦ-3 АО "НТЭК" г. Норильска: б – алканы; в – циклоалканы; г – бензол и алкилбензолы; д – тетралины; е – инданы; ж – фенантрены; з – нафталины

следует, что основной вклад в загрязнение данного участка, как и участка руч. Безымянного, вносит именно ДТ. Следует отметить, что разное по гранулометрическим характеристикам вещество, как показано на примере проб Nor-020 и Nor-020(1), отличается не только содержанием УВ, но и закономерностью распределения *n*-алканов (см. рис. 4).

Распределение углеводородов в хлороформенных экстрактах донных отложений неоднородно (см. табл. 1). Основную долю УВ для всех проб участка составляют *n*-алканы. В пробе Nor-203 отмечено большое количество ароматических соединений, которые в сумме составляют свыше 32 %. Преобладают бензол и его гомологи (20,5 %). При этом в ДТ и в фоновой пробе ароматические соединения не превышают 23 %. Проба Nor-020 с самой большой концентрацией УВ (10 800 мг/кг, ГХ) по УВ составу более всего соответствует дизельному топливу ТЭЦ-3 АО «НТЭК» г. Норильска. Помимо этого в пробе Nor-020 отношение Pr/Ph, которое является генетическим показателем нефтей, практически соответствует ДТ. Небольшие отличия, вероятнее всего, связаны со вкладом УВ слабозрелого органического вещества современных осадков [Peters et al., 2007a, b; Каширцев и др., 2018]. Отношения Pr/*n*-C₁₇ и Ph/*n*-C₁₈ пробы Nor-020 и ДТ примерно равны.

В некоторых пробах, помимо явного присутствия ДТ, которое хорошо диагностируется по распределению *n*-алканов, достаточно высокое содержание приходится на *n*-алканы с количеством атомов углерода более 24 (см. рис. 4), которые в ОБ природных объектов наследуются от высшей наземной растительности [Peters et al., 2007a, b]. В окрестностях данного участка находятся торфяные залежи. В том или ином количестве торфяные прослойки и участки наблюдаются в почвах всего района, но на участке Далдыкан их значительно больше, чем на участке Безымянный. Особенно значительный вклад *n*-алканов с C > 24 установлен в пробе ДО Nor-217, в которой валовое содержание УВ составляет 239 мг/кг (ГХ) (см. рис. 4).

Участок устья р. Амбарной

Распределение *n*-алканов также свидетельствует о присутствии ДТ в донных от-

ложениях участка устья р. Амбарной. Максимальные концентрации *n*-алканов в ДО приходится на УВ C₁₄ – C₁₇ в отличие от самого ДТ, где максимум соответствует *n*-C₁₁. Максимальное содержание в ДО, установленное в верхних двух сантиметрах колонки А1 (2375 мг/кг, ГХ), обеспечивается ДТ, о чем однозначно свидетельствует распределение *n*-алканов. Значительная доля ДТ установлена в пробах Nor-011, Nor-004 (см. рис. 5). Тяжелая фракция УВ, начиная с C₂₂, имеет «пилообразный» характер распределения *n*-алканов. Тяжелая фракция вносит существенный вклад в общую концентрацию УВ, а для некоторых является преобладающей (например, Nor-006). В верхних слоях колонок А2, А3 и А5, невзирая на высокие содержания УВ (396, 231 и 210 мг/кг, ГХ), присутствие ДТ едва угадывается. Значительную долю составляют *n*-алканы с C > 24 современного незрелого органического вещества (ОБ). Река Амбарная в нижнем течении окружена обширными торфяными залежами (см. рис. 1), которые, вероятнее всего, и обеспечивают высокие содержания *n*-алканов C > 24 в донных отложениях.

Основную долю УВ в донных отложениях участка устья р. Амбарной составляют *n*-алканы. Однако их доля значительно ниже, чем в ДТ. В пробах Nor-217, Nor-218, Nor-011, Nor-004 и Nor-225 доля изоалканов соответствует фоновому значению. Циклоалканы составляют от 12,3 до 28,5 % в исследованных донных отложениях, что намного больше, чем содержится в ДТ. Суммарная доля ароматических УВ хлороформенных экстрактов достигает 30 %, что выше, чем в исследованных фоновых точках. Относительное содержание олефинов не однородно и составляет от 0,54 до 2,26 %. Отношение изопреноидных алканов пристана и фитана выше единицы во всех пробах на данном участке (см. табл. 1). В верхних слоях колонок ДО А5, А2 и А3 отношение близко к ДТ, однако со значительным преобладанием изопреноидных алканов над *n*-алканами (Pr/*n*-C₁₇ и Ph/*n*-C₁₈), что соответствует незрелому ОБ современных осадков, но одновременно может свидетельствовать о биодеградациии УВ – разветвленные алканы более устойчивы по сравнению с *n*-алканами [Pirnik et al., 1974; Петров, 1984; Peters et al., 2007a, b].

Участок оз. Пясино – исток р. Пясины

Как уже отмечалось выше, оз. Пясино питают реки Далдыкан, Амбарная и Норильская. Последняя вытекает из оз. Мелкого. По этой причине для донных отложений оз. Пясино фоновыми можно считать все точки, которые были отобраны вне разлива ДТ (Nor-214, Nor-216, M1 и Nor-224). Распределение *n*-алканов в 2-сантиметровом слое ДО оз. Мелкого заметно отличается от распределения в других фоновых точках. В ДО оз. Мелкое наблюдается небольшой узкий пик максимумом C12-C13 (рис. 7). В двух точках (Nor-214, Nor-224) имеется плато C13 – C21 с небольшим постепенным понижением начиная с C21 в точке Nor-214 (см. рис. 3, 4, 7). В точке Nor-216 фиксируется пик в области легких *n*-алканов с максимумом C16, а содержание тяжелых *n*-алканов сравнительно невысокое (см. рис. 5). Различия могут заключаться в отличиях проточной речной экосистемы от озерной, а также в том, что ДО рек явно испытывают техногенную нагрузку промышленного центра. К примеру, в р. Амбарной попадают стоки от угледобывающих предприятий.

Распределение *n*-алканов в двух пробах ДО оз. Пясино (Nor-219, Nor-220) полностью соответствует распределению, характерному для оз. Мелкого, в одной (P10–2 см) – очень близкое. В пробе Nor-221 пик в легкой части спектра смещен и приходится на C15, а в ДО точки Nor-222 – отсутствует. В ДО оз. Пясино незначительное содержание *n*-алканов C11 – C22 и более высокое C22 – C34. Следовательно, основной вклад в общее содержание УВ хлороформенных экстрактов вносят УВ слабозрелого ОВ современных осадков [Peters et al., 2007a, b; Каширцев и др., 2018], которые присутствуют также и на фоновых пробах.

Распределение *n*-алканов в ДО истока р. Пясины ближе таковому в фоновых точках, отобранных из рек, впадающих в оз. Пясино (Nor-214, Nor-216, Nor-224). Содержания тяжелых *n*-алканов C22 – C34 выше, чем легких C11 – C22.

Основную долю УВ донных отложений оз. Пясино и истока р. Пясины для всех образцов составляют *n*-алканы, за исключением верхних 2 см колонки P1, в которой преобладают циклоалканы (см. табл. 1). Для проб Nor-219,

Nor-221 и Nor-222 доля *n*-алканов выше, чем в точках с фоновыми значениями. Доля ароматических углеводородов не превышает 29 %. Содержания олефинов (кроме верхнего слоя колонки P4_0-2) заметно превышают фоновое значение (оз. Мелкое – 0,39 %) и находятся на уровне либо превышают значение для р. Норильской (0,91), которая также является фоном для данного участка и даже для ДТ. Отношения Pr/Ph в фоновых пробах составляют 0,79 (Nor-224) и 0,89 (M1_0–2). В некоторых пробах ДО оз. Пясино и истока р. Пясины отношение Pr/Ph > 1, но в точках Nor-220 и Nor-229 – близко к значениям в фоновых точках (0,83 и 0,91 соответственно). Помимо этого во всех пробах наблюдается преобладание алканов (C17, C18) нормального строения над фитаном и пристаном. Исключение составляют верхние 2 см донных отложений из колонки P1 (Pr/*n*-C 17 = 1,37; Ph/*n*-C 18 = 1,05). Колонка P1 располагается в части озера, которая в засушливые периоды фактически является устьем р. Норильской.

Участок Карского моря

Распределение *n*-алканов в пробах, отобранных на участке Карского моря, очень отличается от всех остальных. В ДО бессточного озера (Nor-227) почти совсем отсутствуют *n*-алканы C11 – C22, характерные для ДТ (рис. 8). “Пилообразный” характер распределения *n*-алканов C > 24 полностью соответствует слабозрелому ОВ современных осадков [Peters et al., 2007a, b; Каширцев и др., 2018]. В ДО устья р. Пясины (Nor-226) легких *n*-алканов немного больше, и закономерности их распределения близки тем, что наблюдались в ДО рек в фоновых точках.

Углеводородный состав хлороформенных экстрактов в ДО устья р. Пясины на 77 % состоит из *n*-алканов, что выше, чем доля в других фоновых точках в 2 раза (см. табл. 1). Отношение Pr/Ph < 1 указывает на УВ слабозрелого органического вещества современных осадков.

Особенности разреза донных отложений

Коричневые глины, слагающие мелководную часть оз. Мелкого, вскрыты колонкой M1 (рис. 9), разделены на части в зависимости

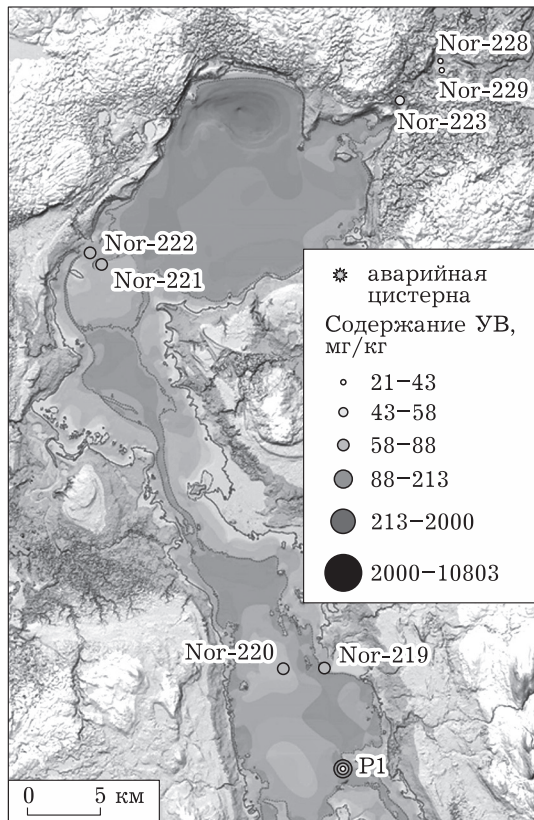
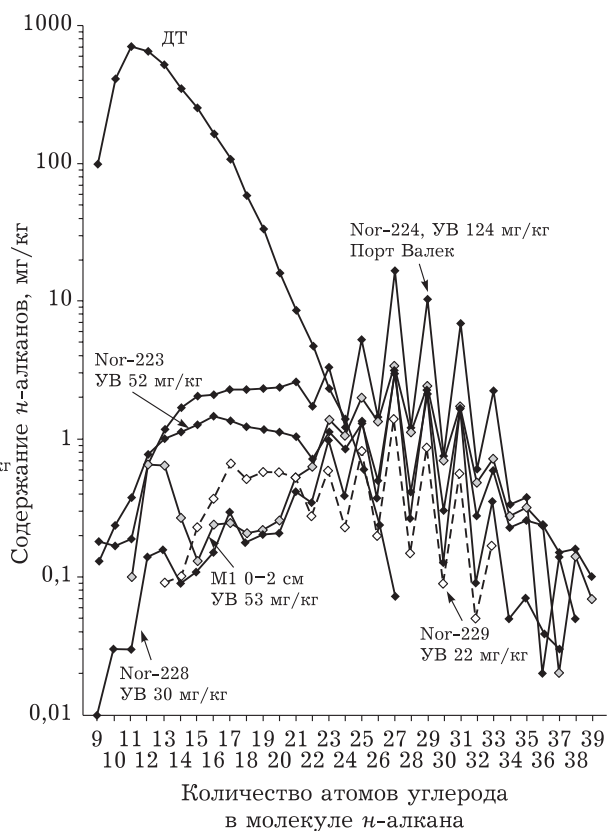
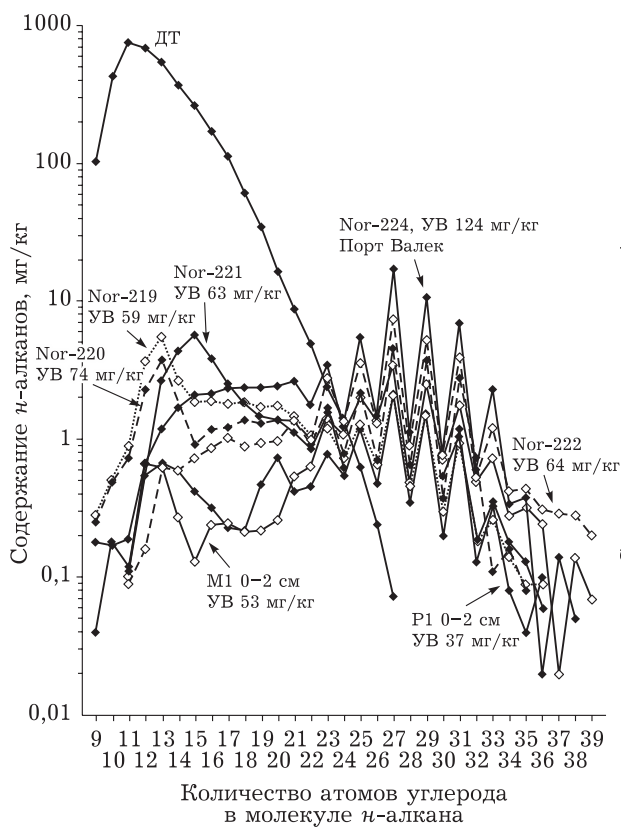


Рис. 7. Схема точек отбора донных отложений участка оз. Пясино – исток р. Пясино с указанием содержания углеводородов, определенного газохроматографическим методом (внизу), а также распределение *n*-алканов в донных отложениях и дизельном топливе (ДТ), нормированное на их суммарное содержание (вверху). Обозначения Nor относятся к единичным точкам: P1 – колонка донных отложений. Содержание УВ на графиках приведено по данным ГХ

от глубины залегания и проанализированы на общее содержание УВ.

В южной части оз. Пясино колонка показывает более сложное строение донных отложений. Колонка P1 (см. рис. 9) из восточной части озера, напротив устья р. Норильской, сложена переслаиванием алевритового и глинистого материала разной крупности. 0–2,5-сантиметровый слой состоит из мелкозернистого песка темно-коричневого цвета. Интервал 2,5–55 см представляет переслаивание алеврита опесчаненного и мелко-тонкого алевропеска оливково-темно-серого цвета. На глубине 24 и 28,5 см установлены тонкие прослои намывной органики. На участке 55–64 см имеется постепенный переход в алеврит тонкопесчанистый, оливково-темно-серый. Подобный разрез может сформироваться при смене озерного осадконакопления на речное, что подтверждается анализом космоснимков.

Река Амбарная опробована в устьевой части и в русле, расположенном в пределах зоны затопления озером. Эта зона во время бурения была осушена. Таким образом, для этой юго-западной части озера характерно чередование озерных и речных условий осадконакопления в зависимости от уровня воды. Колонка A1, пробуренная на косе близ устья, включает речные отложения в верхней части (0–43,5 см) и сероцветные озерные отложения в нижней (43,5–82 см). Колонка A2, пробуренная на краю русла, примерно в 1 км глубже в оз. Пясино, заполнена озерной толщей с речным влиянием (0–22 см) и озерной толщей (22–78 см). Колонка A3, расположенная примерно в 2 км глубже в озеро, содержит речную толщу с озерным влиянием (0–51,5 см) и озерную толщу с речным влиянием (51,5–74 см, рис. 9).

Верхний 1 см колонки A1 представлен тонкозернистым песком с примесью илистого материала, вещество имеет темно-серый, почти черный цвет. Интервал 1–19 см сложен среднезернистым песком, темно-желто-коричневого цвета, с редкими глинистыми окатышами коричневого цвета. С глубины 19 до 43,5 см в колонке наблюдается мелкозернистый песок темно-серого, почти черного цвета. На глубине 22 и 26 см фиксируются прослои растительных остатков. Нижняя часть (43,5–82 см) сложена темно-серым алевритом. Колонка A2 представлена темно-серым,

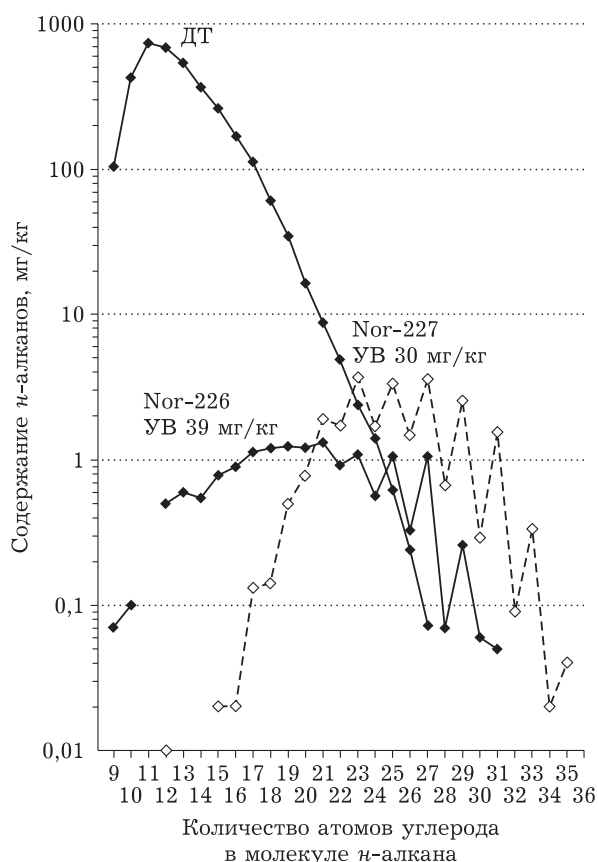


Рис. 8. Распределение *n*-алканов донных отложений на участке Карское море, определенное газохроматографическим методом. Содержание УВ на графиках приведено по данным ГХ

обогатненным органикой опесчаненным алевритом до глубины 22 см и алевритом с примесью тонкого песка с оливковым оттенком, без видимой слоистости с 22 до 78 см. Колонка A3 состоит из песчаных слоев различной крупности, от темно-серого до коричневого цвета. В веществе наблюдаются растительные остатки. Колонка A4 до глубины 8 см сложена крупным алевритом и тонкозернистым песком темно-серого цвета с оливковым оттенком. Ниже располагается прослой мелко-тонкозернистого песка до глубины 50 см. До глубины 55 см залегает алеврит с прослоями растительных остатков. Интервал 55–67 см представлен мелкозернистым песком, ниже распространен алеврит. В разрезе встречаются окатыши из глинистого алеврита коричневого цвета (см. рис. 9). В верхней части, до 3 см, колонка A5 наполнена веществом с высоким содержанием гидроксидов Fe, окрашенным в красно-коричневый цвет. Ниже чередуются

песчано-илистые, илистые и песчаные слои с прослоями ОВ.

Распределение УВ в вертикальном профиле ДО

Озеро Мелкое. В ДО оз. Мелкое (М1) УВ по разрезу распределены весьма равномерно. Методы ФЛ и ГХ демонстрируют хорошую сходимости. Содержания колеблются по данным метода ФЛ в пределах от 16 до 63 мг/кг, а метода ГХ – от 22 до 53 мг/кг (см. рис. 9). Распределение *n*-алканов в верхнем слое донного осадка уже обсуждалось выше, здесь следует отметить, что распределение в остальных изученных пробах разреза почти полностью совпадает с наблюдаемым в верхнем слое (см. рис. 10): небольшой пик С12 – С13 в легкой части спектра, более высокие содержания *n*-алканов с $C > 22$, “пилообразный” характер с более высокими содержаниями четных *n*-алканов, указывающие на слабозрелое ОВ современных осадков [Peters et al., 2007a, b; Каширцев и др., 2018].

Независимо от глубины отбора пробы основными УВ являются *n*-алканы (табл. 2). Процентное содержание циклоалканов снижается по мере увеличения глубины отбора пробы. Доля ароматических УВ с глубиной увеличивается до 21 %. Содержание остальных УВ не превышает 1 % (см. табл. 2). Отношение Pr/Ph (см. табл. 2) в поверхностном слое равно 0,89. Максимальное значение достигается на глубине 40–42 см (1,43). При этом во всех пробах *n*-алканы С17 и С18 преобладают над пристаном и фитаном.

Озеро Пясино

Закономерности вертикального распределения УВ в разрезе ДО оз. Пясино (колонка Р1) близки распределению, наблюдаемому в осадке оз. Мелкое (рис. 10). Уровень содержания УВ также близкий – от 19 до 22 мг/кг по данным ФЛ и от 34 до 58 по данным ГХ. Исключение составляет только проба, отобранная на глубине 40–42 см, в которой содержание УВ по данным ГХ составило 140 мг/кг (см. рис. 9, 10).

Распределение *n*-алканов в разных слоях ДО отличается (см. рис. 10). В поверхностном слое распределение *n*-алканов в легкой и тя-

желой частях спектра подобно наблюдаемому в донных отложениях оз. Мелкое. А в слое 4–6 см в легкой части спектра отмечается пик, подобный тому, который характерен для осадков, загрязненных ДТ. Как показали исследования, именно верхний слой осадка был загрязнен в результате аварии, следовательно, распределение *n*-алканов может указывать на более раннее загрязнение, случившееся из другого источника. Спектр *n*-алканов в слое 40–42 см значительно отличается от спектров других проб разреза (см. рис. 10), что подтверждает более высокое содержание УВ, определенное методом ГХ. Все образцы имеют “пилообразный” спектр в тяжелой части С22 – С34, соответствующий слабозрелому ОВ современных осадков [Peters et al., 2007a, b; Каширцев и др., 2018] (см. рис. 10).

Слои 4–6, 8–10 и 62–64 см схожи между собой по распределению долей основных типов УВ. В слое 40–42 см наиболее высокие содержания *n*-алканов, наиболее низкие – циклоалканов, а содержания ароматических УВ и олефинов (тетралинов, бензолов, нафталинов и фентренов) в несколько раз превышают содержания в других слоях. Отношения Pr/Ph в слоях 0–2 и 4–6 близки к ДТ (см. табл. 2). При этом наблюдается преобладание ациклических изоалканов (Pr, Ph) над алканами нормального строения (С17, С18). В последующих слоях значения изучаемых соотношений уменьшается. Но для слоя 40–42 см соотношение Pr/Ph заметно выше, чем для соседних, а Pr/*n*-С 17 и Ph/*n*-С 18, напротив, заметно ниже. Эти данные являются дополнительным свидетельством более раннего загрязнения данного слоя из другого источника.

Устье р. Амбарной

Во всех колонках, отобранных в устье р. Амбарной, верхние 2 см значительно обогащены УВ по сравнению с нижележащими слоями (рис. 11). Однако концентрации УВ в различных колонках колеблются от 212 до 1460 мг/кг по данным ФЛ и от 210 до 2375 мг/кг по данным ГХ. Несмотря на различия в содержаниях оба метода показывают одинаковые закономерности распределения УВ (см. рис. 11). С глубиной содержания УВ снижаются в колонке А3 до уровня, зафиксированного в фоновых точках, – 48–

Углеводородный состав ДТ с резервуара ТЭЦ-3 АО "НТЭК" г. Норильска и хлороформенных экстрактов колонок донных отложений

Глубина отбора проб, см	n-Алканы	Изоалканы	Циклоалканы	Олефины	Инданы	Тетралины	Бензол и гомологи	Нафталин и гомологи	Фенантрен и гомологи	Pr/Ph	Pr/n-C 17	Ph/n-C 18
ДТ	52,53	14,52	8,57	1,20	0,19	0,15	14,70	6,29	1,79	1,38	0,86	0,93
оз. Мелкое (M1)												
0-2	41,84	16,77	35,19	0,39	0,05	0,04	4,08	1,22	0,36	0,89	0,52	0,69
4-6	47,19	15,65	21,88	0,80	0,12	0,10	9,39	3,55	1,07	1,07	0,68	0,77
8-10	47,68	15,60	21,28	0,79	0,12	0,09	9,22	3,96	1,08	1,01	0,64	0,74
40-42	51,11	16,94	11,55	1,07	0,17	0,13	12,87	4,78	1,36	1,43	0,70	0,61
64-66	51,82	15,73	10,06	1,14	0,18	0,14	13,79	5,54	1,52	1,07	0,77	0,86
р. Амбарная 01 (A1)												
0-2	33,26	22,41	28,52	0,96	0,12	0,09	11,19	2,67	0,75	1,27	1,37	1,49
4-6	50,98	17,17	11,83	1,06	0,17	0,13	12,70	4,64	1,30	1,37	1,42	1,48
8-10	48,43	16,21	11,24	1,11	0,16	0,12	17,05	4,40	1,23	1,29	1,32	1,41
40-42	28,86	24,69	26,05	0,07	0,01	0,01	19,97	0,02	0,08	1,03	1,55	1,70
80-82	28,98	24,79	26,15	0,00	0,00	0,00	20,05	0,00	0,00	0,91	1,24	1,17
р. Амбарная 02 (A2)												
0-2	42,41	20,53	19,42	0,80	0,11	0,09	15,34	0,29	0,84	1,32	9,57	9,69
4-6	43,11	21,72	18,27	0,87	0,13	0,10	13,41	0,97	0,93	1,07	2,19	3,07
8-10	35,70	22,66	22,79	0,40	0,06	0,05	17,70	0,15	0,42	0,98	1,71	2,38
40-42	32,34	23,73	23,47	0,20	0,03	0,03	18,88	0,80	0,14	0,89	1,63	1,47
76-78	30,91	24,45	25,01	0,00	0,00	0,00	19,62	0,00	0,00	0,94	0,68	0,80
р. Амбарная 03 (A3)												
0-2	36,35	22,62	22,95	0,54	0,08	0,06	16,05	0,81	0,51	1,34	7,45	5,56
4-6	43,50	27,07	14,30	0,65	0,01	0,01	14,42	0,01	0,01	0,99	1,49	1,75
8-10	41,79	27,55	14,09	0,60	0,01	0,01	15,89	0,01	0,01	0,95	1,13	1,55
40-42	36,35	26,00	19,55	0,30	0,00	0,00	17,75	0,00	0,00	1,00	1,05	1,34
72-74	30,83	28,27	21,26	0,33	0,00	0,00	19,30	0,00	0,00	0,98	1,41	1,66
р. Амбарная 04 (A4)												
0-2	49,27	19,75	14,28	1,12	0,14	0,11	11,03	3,23	0,93	1,18	1,53	1,82
4-6	45,32	18,28	21,53	0,91	0,11	0,08	10,28	2,43	0,70	1,03	1,94	1,67
6-8	29,91	26,53	23,71	0,16	0,00	0,00	19,68	0,00	0,00	1,04	1,51	1,93
8-10	36,55	15,61	42,81	0,44	0,02	0,01	4,11	0,20	0,08	1,02	1,57	2,00
40-42	37,98	15,78	45,33	0,31	0,01	0,01	0,40	0,08	0,07	0,86	3,09	4,94
62-64	40,46	18,53	36,20	0,47	0,04	0,03	3,96	0,17	0,07	1,01	0,85	1,01
р. Амбарная 05 (A5)												
0-2	50,76	17,55	12,29	1,04	0,16	0,13	12,41	4,39	1,23	1,35	7,70	9,70
4-6	30,26	25,81	27,57	0,85	0,13	0,10	11,01	3,31	0,91	1,15	3,03	3,28
8-10	43,59	20,91	18,13	0,94	0,14	0,11	11,48	3,65	1,02	1,08	2,18	2,83
40-42	50,23	18,46	13,41	0,99	0,15	0,12	11,72	3,83	1,08	0,87	8,64	13,97
86-88	38,55	25,01	24,02	0,76	0,11	0,08	9,19	1,77	0,49	1,11	2,11	1,86
оз. Пясино (P4)												
0-2	37,91	15,47	45,52	0,11	0,01	0,01	0,60	0,20	0,07	1,41	1,37	1,05
4-6	47,71	12,55	31,34	0,69	0,03	0,01	6,79	0,31	0,09	1,30	1,09	1,22
8-10	46,85	24,20	20,46	0,67	0,08	0,06	7,36	0,22	0,07	0,86	0,85	0,95
40-42	49,69	19,36	14,52	0,94	0,14	0,11	11,03	3,26	0,93	1,19	0,42	0,40
62-64	45,76	18,06	24,85	0,66	0,09	0,07	7,55	2,24	0,64	0,91	0,69	0,71

63 мг/кг. Уже на глубине 4–6 см содержания УВ не превышают 145 мг/кг по данным ГХ, даже в колонке А1, где концентрации УВ в верхнем слое составляют 2375 мг/кг (ГХ). По данным ГХ только в колонке А4 содержания в верхнем слое и на глубине 4–6 см близки (278 и 242 мг/кг), но данные ФЛ этого не подтверждают (301 и 110 мг/кг, см. рис. 9). С глубины 8–10 см содержания в разных колонках сильно различаются и колеблются в широких пределах – от 43 до 196 мг/кг по данным ФЛ и от 20 до 208 мг/кг по данным ГХ. Однако более высокие содержания УВ в донных отложениях могут обеспечиваться привносом ОВ из окрестных болот (см. рис. 1). Закономерности распределения *n*-алканов подтверждают данное предположение, но не во всех случаях.

В колонке А1 в верхних 2 см осадка распределение легких *n*-алканов (С11 – С22) соответствует распределению в ДТ. Доля тяжелых *n*-алканов низкая (см. рис. 11). С глубиной содержание легких *n*-алканов снижается и увеличивается доля тяжелых (см. рис. 11). При-

сутствие ДТ установлено в пробах до глубины 40–42 см. И только в пробе на глубине 80–82 см пик в легкой части спектра полностью исчезает. Доля изоалканов и циклоалканов уменьшается на глубине 4–6 и 8–10 см в колонке А1, а затем увеличивается практически до исходного значения. Состав УВ на глубине 40–42 и 80–82 см в целом схож между собой. Нафталины и фенантрены отсутствуют или присутствуют в следовых количествах. Бензол и его гомологи обнаруживаются и составляют 20 %. Олефины, инданы и тетралины на глубине 80–82 см не обнаружены.

Следует отметить, что в колонке А1 установлены самые высокие содержания УВ в поверхностном слое, а сама колонка сложена песчаным, легко проницаемым веществом, что и привело к просачиванию до глубины, на которой песчаное вещество сменяется илистым. К сожалению, в данном исследовании нельзя полностью быть уверенными в том, что просачивание не произошло в процессе транспортировки.

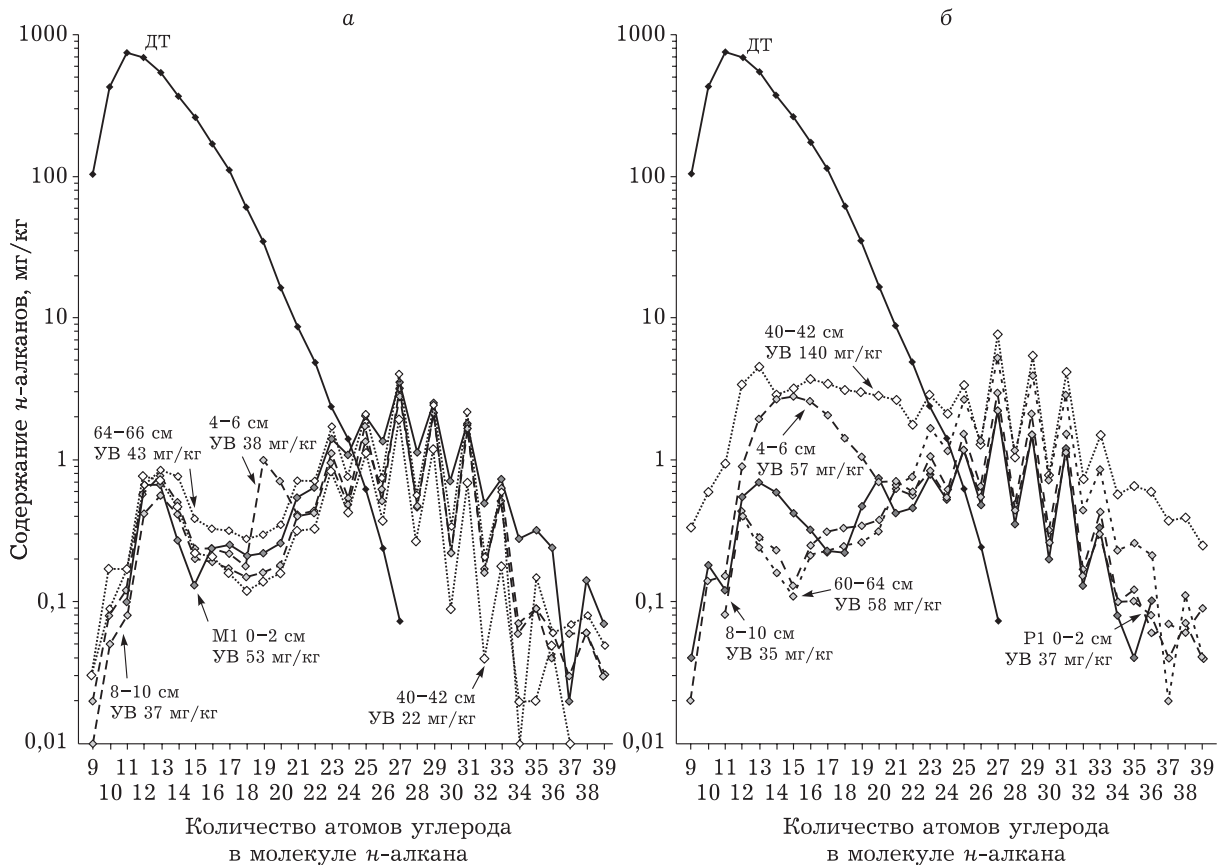


Рис. 10. Распределение *n*-алканов в колонках донных отложений оз. Мелкого (а), оз. Пясино (б), определенное газохроматографическим методом. Содержание УВ на графиках приведено по данным ГХ

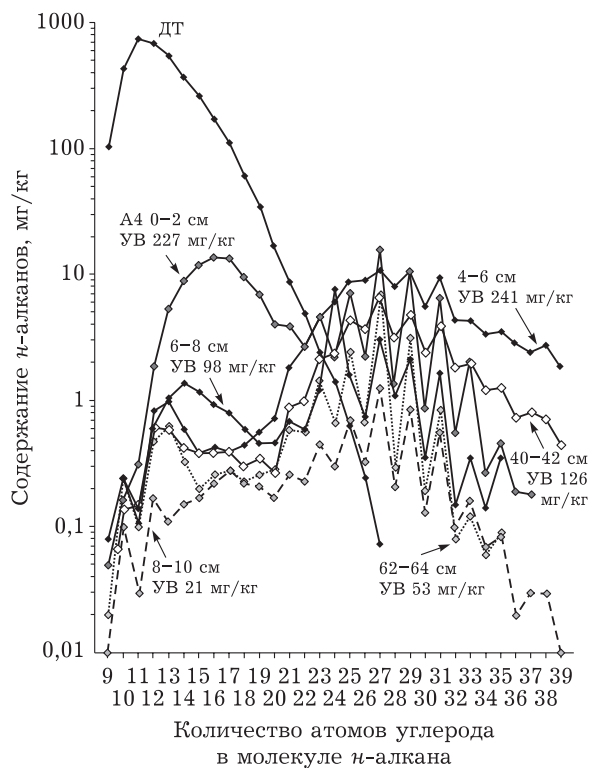
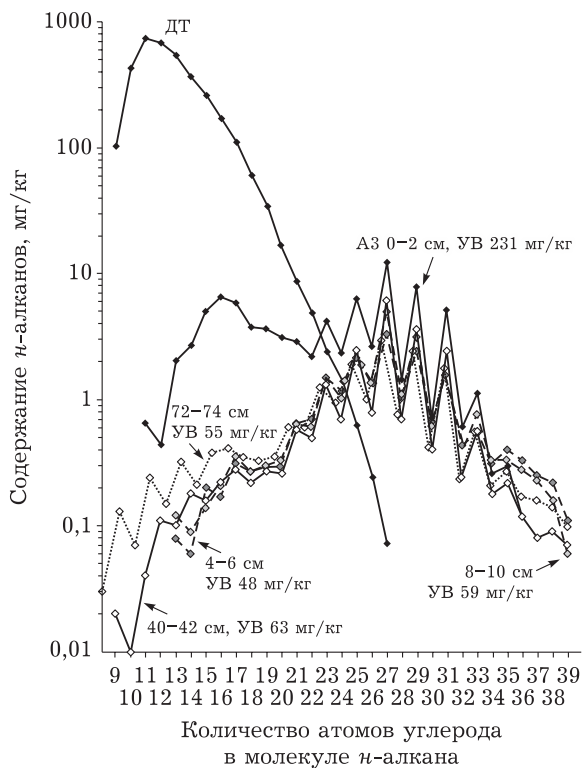
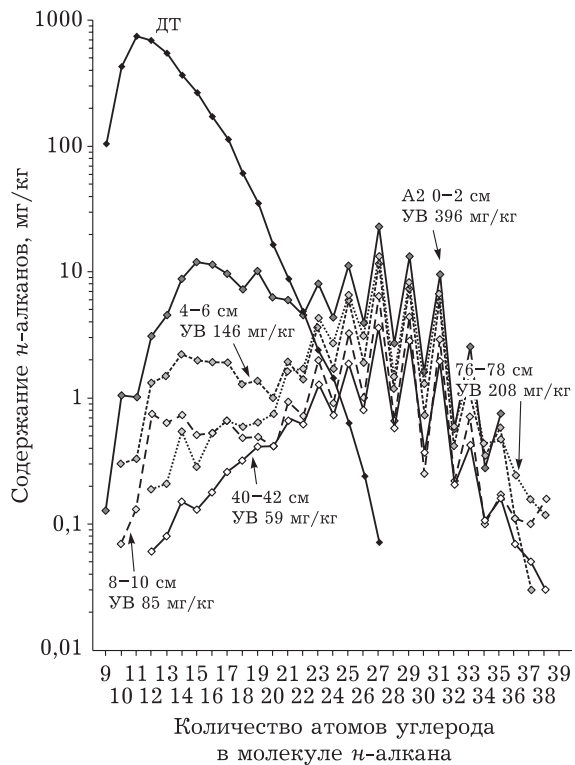
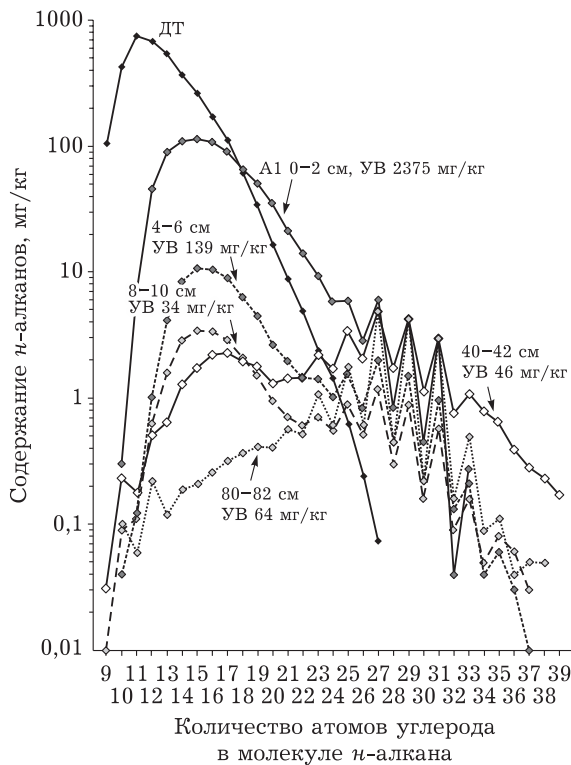


Рис. 11 (начало)

Во всех изученных колонках в верхнем слое распределение *n*-алканов указывает на загрязнение отложений ДТ в различной степени. Однако доля ДТ в составе

УВ очень различается и может быть совсем невысокой, даже при значительных содержаниях УВ, как, например, в колонке А2 (см. рис. 11).

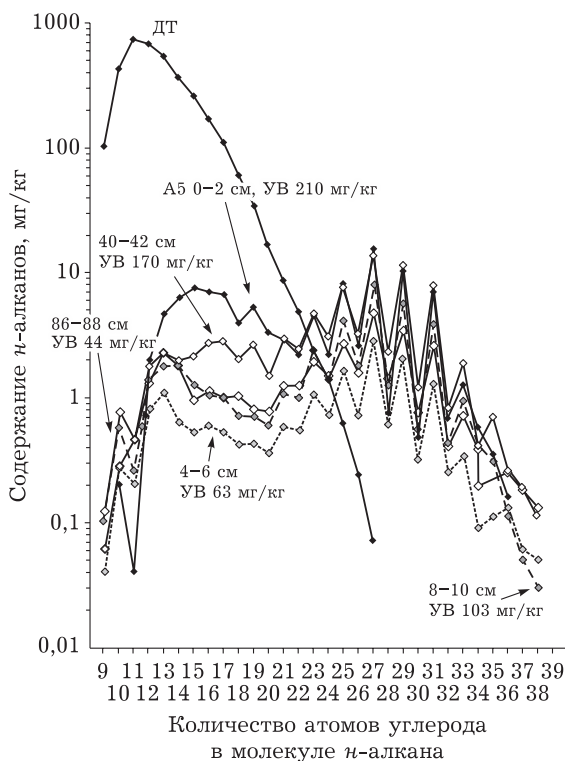


Рис. 11 (окончание). Распределение *n*-алканов в колонках донных отложений устья р. Амбарной, определенное газохроматографическим методом. Расположение колонок см. на рис. 5, а. Содержание УВ на графиках приведено по данным ГХ

В колонке А2 загрязнение ДТ диагностируется только в поверхностном слое. Но значительные содержания УВ (396 мг/кг) обеспечиваются в большей степени современной природной компонентой. По мере увеличения глубины залегания концентрация снижается и на глубине 40–42 см составляет 59 мг/кг. Затем на глубине 76–78 см возрастает до 208 мг/кг (см. рис. 9, 11), что, судя по распределению *n*-алканов, полностью обеспечивается УВ слабозрелого ОВ современных осадков. На глубине 80–82 см состав УВ схож с тем, что наблюдается в нижних слоях колонки А1 — полное отсутствие нафталинов, фенантронов, олефинов, инданов и тетралинов.

В слое 0–2 см колонки А3 концентрация УВ составила 231 мг/кг по данным ГХ. По мере увеличения глубины их содержания снижаются до 48–55 мг/кг (см. рис. 9, 11). Распределение *n*-алканов указывает на то, что только верхний слой имеет признаки присутствия ДТ (см. рис. 9). С глубины 4–6 см распределение *n*-алканов в слоях совершенно подобно

и соответствует слабозрелому ОВ современных осадков [Peters et al., 2007a, b; Каширцев и др., 2018]. Распределение *n*-алканов, изоалканов, циклоалканов, тетралинов, инданов, бензола и его гомологов схоже с наблюдаемым в колонках А1 и А2 (см. табл. 2), но на глубине 40–42 см полностью отсутствуют полиароматические углеводороды, представленные нафталином и фенантроном и их гомологами.

Колонка А3 сложена, как и колонка А1, преимущественно песчаным веществом (см. рис. 9), но присутствие ДТ установлено только в верхнем слое (см. рис. 11). Таким образом, возможно, минеральный состав вещества или гидродинамическая обстановка влияют на степень просачивания ДТ в более глубокие слои осадка.

В колонке А4, как и в колонке А3, присутствие ДТ установлено по распределению *n*-алканов только в самом верхнем слое (см. рис. 11), при концентрации УВ — 277 мг/кг (ГХ). Распределение содержаний УВ самое неравномерное в колонке А4, с глубиной наблюдается снижение содержания УВ, а потом резкое увеличение. Следует отметить, что вещество колонки А4 по визуальным характеристикам обогащено детритовым органическим веществом, что, видимо, и приводит к увеличению содержания УВ на глубине 40–42 см до 126 мг/кг (см. рис. 9). Распределение *n*-алканов при этом соответствует ОВ современных осадков (см. рис. 11). На глубине 8–10 см снижается доля *n*-алканов, олефинов, инданов, тетралинов, нафталинов и фенантронов и вновь возрастает в более глубоких горизонтах (см. табл. 2).

В поверхностном слое колонки А5 содержание УВ составляет 210 мг/кг, в слое 4–6 см снижается до 64 мг/кг, на глубине 40–42 см возрастает до 170 мг/кг и на глубине 86–88 см снова снижается до 44 мг/кг (см. рис. 11). По распределению *n*-алканов, так же как и в большинстве исследованных колонок, незначительное присутствие ДТ диагностируется только в поверхностном слое осадка (см. рис. 11). Преобладают *n*-алканы тяжелой фракции С22 – С34. Распределение УВ состава для данной колонки донных отложений, в отличие от А1, А2 и А3, в зависимости от глубины залегания происходит неравномерно, возможно, это связано с более разнообразным составом ДО.

ВЫВОДЫ

1. Проведено исследование 34 проб донных отложений (ДО) и 7 колонок ДО на общее содержание углеводородов в Норило-Пясинской группе водных объектов, подвергшихся загрязнению в результате разлива дизельного топлива из резервуара ТЭЦ-3 АО «НТЭК» г. Норильска.

2. Для анализа использовано два метода: флуориметрический и газохроматографический. Данные о содержании углеводородов в донных отложениях, полученные разными методами, в целом демонстрируют подобные закономерности снижения/увеличения концентраций.

3. По результатам проведенного опробования следует, что в ДО оз. Пясино содержания УВ не превышают нижний предел норматива допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов (ДОСНП) (100 мг/кг), который был разработан для территории Ненецкого автономного округа. Донные отложения устья р. Долдыкан и р. Амбарной содержат наиболее высокие количества УВ: в большинстве проб значения выше нижнего предела ДОСНП, а в двух пробах – выше верхнего предела ДОСНП (1000 мг/кг). В ДО руч. Безымянного и р. Долдыкан установлены содержания УВ ниже 1000 мг/кг. В фоновых пробах ДО найдены содержания УВ от 14 до 128 мг/кг.

4. Методом газовой хроматографии получены распределения *n*-алканов в экстрактах из ДО. Изучен вклад в общее содержание углеводородов дизельного топлива и незрелого ОВ современного формирования. Установлен существенный вклад ОВ современного формирования в общие содержания УВ.

5. Определен углеводородный состав дизельного топлива и хлороформенных экстрактов донных отложений. Выделены следующие группы веществ: алканы, циклоалканы, бензол и алкилбензолы, инданы; тетралины, фенантрены; нафталины, биомаркеры (пристан, фитан). Анализ содержаний различных групп веществ позволил сделать вывод о возможности более раннего загрязнения ДО углеводородами.

Работа выполнена при финансовой поддержке АО «Норильско-Таймырская энергетическая компания» в рамках договора.

ЛИТЕРАТУРА

Бродский Е. С., Шелепчиков А. А., Калинин Г. А., Мир-Кадырова Е. Я., Жильников В. Г. Определение со-

става тяжелых и остаточных нефтепродуктов с помощью газовой хроматографии/масс-спектрометрии // *Нефтехимия*. 2014. Т. 54, № 1. С. 29–37.

Геологическое строение и полезные ископаемые центральной части Норильского промышленного района. Комплект геологических карт. Масштаб 1 : 50 000 / МинГео СССР, ВСЕГЕИ. Л., 1981.

ГОСТ 26098-84. Нефтепродукты. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2010.

Другов Ю. С., Родин А. А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов: практ. рук.-во. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 270 с.

Иванов Д. В., Валиев В. С., Шагидуллин Р. Р. Статистический подход к определению региональных фоновых концентраций нефтяных углеводородов в донных отложениях // *Тр. КарНЦ РАН*. 2020. № 9. С. 30–39.

Исаева Л. Л., Кинд Н. В., Крауш Л. Д. О возрасте и строении краевых ледниковых образований у северного подножия плато Путорана. 1976. № 45. С. 117–123.

Каширцев В. А., Никитенко Б. Л., Пещевская Е. Б., Фурсенко Е. А. Биогеохимия и микрофоссилии верхней юры и нижнего мела Анабарского залива моря Лаптевых // *Геология и геофизика*. 2018. Т. 59, № 4. С. 481–501.

Леоненко И. И., Антонович В. П., Андрианов А. М., Безлуцкая И. В., Цымбалюк К. К. Методы определения нефтепродуктов в водах и других объектах окружающей среды (обзор) // *Методы и объекты хим. анализа*. 2010. Т. 5, № 2. С. 58–72.

Лихачев А. П. Опоискованность Норильского района и возможности открытия в нем новых Pt-Cu-Ni месторождений // *Отеч. геология*. 2020. № 2. Р. 3–16.

Лурье Ю. Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. М.: Химия, 1984. 448 с.

Малич Н. С., Масайтис В. Л., Сурков В. С. Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 4. Сибирская платформа. Л.: Недра. Ленингр. отд-ние, 1987. 448 с.

Нормативы допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах и донных отложениях водных объектов после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ на территории Ненецкого автономного округа. Нарьян-Мар: Администрация Ненецкого автономного округа, 2011. 28 с.

Паничева Л. П., Моисеенко Т. И., Клремлева Т. И., Волкова С. С. Биохимическая трансформация нефтяных углеводородов в водах Западной Сибири // *Вестн. Тюмен. гос. ун-та. Экология и природопользование*. 2012. № 12. Р. 38–48.

Петров А. А. Углеводороды нефти. М.: Наука, 1984. Р. 263. ПНД Ф 16.1:2:21-98. Методика измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод, отходов производства и потребления гравиметрическим методом. М.: ФГУ ФЦАО, 2010. 16 с.

ПНД Ф 16.1:2:21-98. Методика измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «флюорат-02». М.: ФГУ ФЦАО, 2012. 26 с.

ПНД Ф 16.1:2.22-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии. М.: ФГУ ФЦАО, 2005. 20 с.

- Савичев О. Г., Нгуен Ван Луен. О методике определения фоновых и аномальных значений гидрогеохимических показателей // Изв. Том. политех. ун-та. Инжениринг георесурсов. 2015. Т. 326, № 9. С. 133–142.
- Стрелков С. А. Север Сибири. История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. М.: Наука, 1965. 336 с.
- Тепаносян Г. О., Беляева О. А., Саакян Л. В., Сагатемян А. К. Интегрированный подход при определении фоновых содержаний химических элементов в почвах // Геохимия. 2017. № 6. С. 563–570.
- Термердашев З. А., Павленко Л. Ф., Корпакова И. Г., Скрышник Г. В., Клименко Т. Л., Вотинова Т. В., Ермакова Я. С. Об ограниченности термина “нефтепродукты” при определении загрязнения донных отложений // Журн. аналит. химии. 2017. № 10 (72). С. 952–958.
- Требования к экологическим исследованиям и картографированию. М-6 1:100000–1:500000. М.: М-во геологии СССР, 1990.
- Aguilera F., Méndez J., Páraso E., Laffon B. Review on the effects of exposure to spilled oils on human health // J. Appl. Toxicol.: An Int. J. 2010. Vol. 30, N 4. P. 291–301.
- Baran A., Mierzwa-Hersztek M., Gondek K., Szara M., Tarnawski M. The content and composition of organic matter in bottom sediments of the Rybnik reservoir-preliminary studies // Geol. Geophys. and Environ. 2018. Vol. 44, N 3. P. 309–317.
- Kováts E. Gas-chromatographische charakterisierung organischer verbindungen. Teil 1: retentionsindices aliphatischer halogenide, alkohole, aldehede und ketone // Helvetica Chim. Acta. 1958. Vol. 41, N 7. P. 1915–1932.
- Nadim F., Liu S., Hoag G. E., Chen J., Carley R. J., Zack P. A comparison of spectrophotometric and gas chromatographic measurements of heavy petroleum products in soil samples // Water, Air, and Soil Pollut. 2002. Vol. 134, N 1. P. 97–109.
- Peters K. E., Walters C. C., Moldowan J. M. The biomarker guide: Volume 1. Biomarkers and isotopes in the environment and human history. Cambridge University Press, 2007a.
- Peters K. E., Walters C. C., Moldowan J. M. The biomarker guide: Volume 2. Biomarkers and isotopes in petroleum systems and earth history. Cambridge University Press, 2007b.
- Pirnik M. P., Atlas R. M., Bartha R. Hydrocarbon metabolism by *Brevibacterium erythrogenes*: normal and branched alkanes // J. Bacteriol. 1974. Vol. 119, N 3. P. 868–878.
- Shcherbov B. L., Zavgorodnyaya N. V., Lazareva E. V. Ecogeochemical Consequences of Forest Fires in Belt Pine Forests of Altai Krai // Contemporary Problems of Ecology. 2008. Vol. 1, N 4. P. 459–466.

Composition and concentration of bottom sediment hydrocarbons in the diesel fuel spill zone of TPS-3 of JSC “NTEK” (Norilsk, Arctic Siberia)

O. P. TARAN^{1, 2}, A. M. SKRIPNIKOV^{1, 2}, V. A. IONIN¹, K. L. KAIGORODOV¹, S. K. KRIVONOGOV^{3, 4},
N. N. DOBRETISOV³, V. N. DOBRETISOV³, E. V. LAZAREVA³, N. N. KRUK³

¹*Institute of Chemistry and Chemical Technology of SB RAS,
FRC “Krasnoyarsk Science Center of SB RAS”
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/24
E-mail: taran.op@icct.krasn.ru*

²*Siberian Federal University
660041, Krasnoyarsk, Svobodnyi av., 79*

³*Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of SB RAS
630090, Novosibirsk, Akademik Koptyug av., 3*

⁴*Novosibirsk State University
630090, Novosibirsk, Pirogov str., 1*

In this work, analysis of bottom sediments (BS) samples and columns was conducted for the total content of petroleum products (hydrocarbons) of the Norilo-Pyasinsk group water reservoir, which were contaminated as a result of JSC NTEK CHPP-3 reservoir diesel spill nearby Norilsk. Processing two analysis methods used: fluorometric and gas chromatographic, meanwhile in addition the n-alkanes distributions of obtained BS extracts with gas chromatography were studied, the contribution of the total hydrocarbon content in diesel fuel so as hydrocarbons of slightly mature organic matter in contemporary sediments. Determination hydrocarbon composition of BS diesel fuel and chloroform extracts was processed. As a result, the levels of BS pollution by hydrocarbons for Pyasino Lake appeared insignificant with their background content comparison, and the maximum pollution revealed for the Ambarnaya River BS.

Key words: bottom sediments, bottom sediment columns, petroleum products, hydrocarbons, diesel fuel, fluorimetry, gas chromatography.