

УДК 550.47:556.54

## ИЗМЕНЕНИЯ В СОДЕРЖАНИИ И СОСТАВЕ УГЛЕВОДОРОДОВ В ДОННЫХ ОСАДКАХ НОРИЛО-ПЯСИНСКОЙ ВОДНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕРЕЗ ГОД ПОСЛЕ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

© 2023 г. И. А. Немировская<sup>1,\*</sup>, Ю. С. Глянцева<sup>2</sup>, член-корреспондент РАН А. В. Соков<sup>1</sup>

Поступило 22.03.2023 г.

После доработки 07.04.2023 г.

Принято к публикации 17.04.2023 г.

Через год после аварийного разлива дизельного топлива (ДТ) в Норильске концентрации углеводородов (УВ) в донных осадках Норило-Пясинской водной системы снизились, но в среднем по районам уменьшались в той же последовательности, как и в 2020 г. (мкг/г): устье р. Амбарная (835,  $\sigma = 1788$ ) > руч. Безымянный – р. Далдыкан – р. Амбарная (306,  $\sigma = 273$ ) > р. Пясино (23,  $\sigma = 20$ ) > оз. Пясино (12,  $\sigma = 8$ ). Снижение концентраций произошло за счет деградации низкомолекулярных УВ. Содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в 2021 г. изменялось также в меньшем интервале (0–1027 нг/г), чем в 2020 г. (0–3865 нг/г). Нефтяное происхождение ПАУ в осадках р. Амбарная (в том числе устья), руч. Безымянный, р. Далдыкан подтверждает доминирование в их составе алкилированных гомологов нафталина. Аккумуляция УВ в отдельных горизонтах осадочной толщи обусловлено не только просачиванием ДТ, но и привнесом органических веществ с заболоченных участков и пойменных озер, а также погребением поверхностного слоя паводком 2021 г.

**Ключевые слова:** аварийный разлив, дизельное топливо, донные осадки, хлороформенный битумоид, углеводороды, алканы, полициклические ароматические углеводороды

DOI: 10.31857/S2686739723600571, EDN: WFYCLU

29 мая 2020 г. на ТЭЦ-3 в районе Кайеркан г. Норильска произошла разгерметизация бака, где хранилось резервное дизельное топливо (ДТ), принадлежащее Норильско-Таймырской энергетической компании. Считается, что причина аварии — упущения в проектировании и недостатки при строительстве основания резервуара, из-за которых произошло внезапное проседание свай при таянии вечной мерзлоты [1]. По имеющимся данным [2], наружу вылилось около 20 тыс. м<sup>3</sup> (17 тыс. т) ДТ. При этом 6000 т попало в грунт, остальные — в систему водотоков: руч. Безымянный и в реки Долдыкан и Амбарная, которые являются многочисленными притоками, питающими оз. Пясино (рис. 1).

Наши исследования донных осадков, проведенные через два месяца после разлива (с 29 июля по 13 августа 2020 г.) в рамках Большой Норильской экспедиции, установили, что ДТ распро-

странилось по речному стоку на 31 км и практически не попало в оз. Пясино и тем более в Карское море [3]. Загрязнение было сконцентрировано на участках от руч. Безымянного и р. Далдыкан до устья р. Амбарная, где содержание углеводородов (УВ) в среднем составило 1457 мкг/г. В оз. Пясино и в р. Пясино концентрации УВ в донных осадках были в среднем почти в 70 раз ниже (21 мкг/г).

Для изучения влияния разлива на экологическое состояние Норило-Пясинской водной системы (НПВС) летом 2021 г. исследования донных осадков были продолжены с целью определения изменений в содержании и составе органических соединений, в том числе УВ в донных осадках через год после разлива.

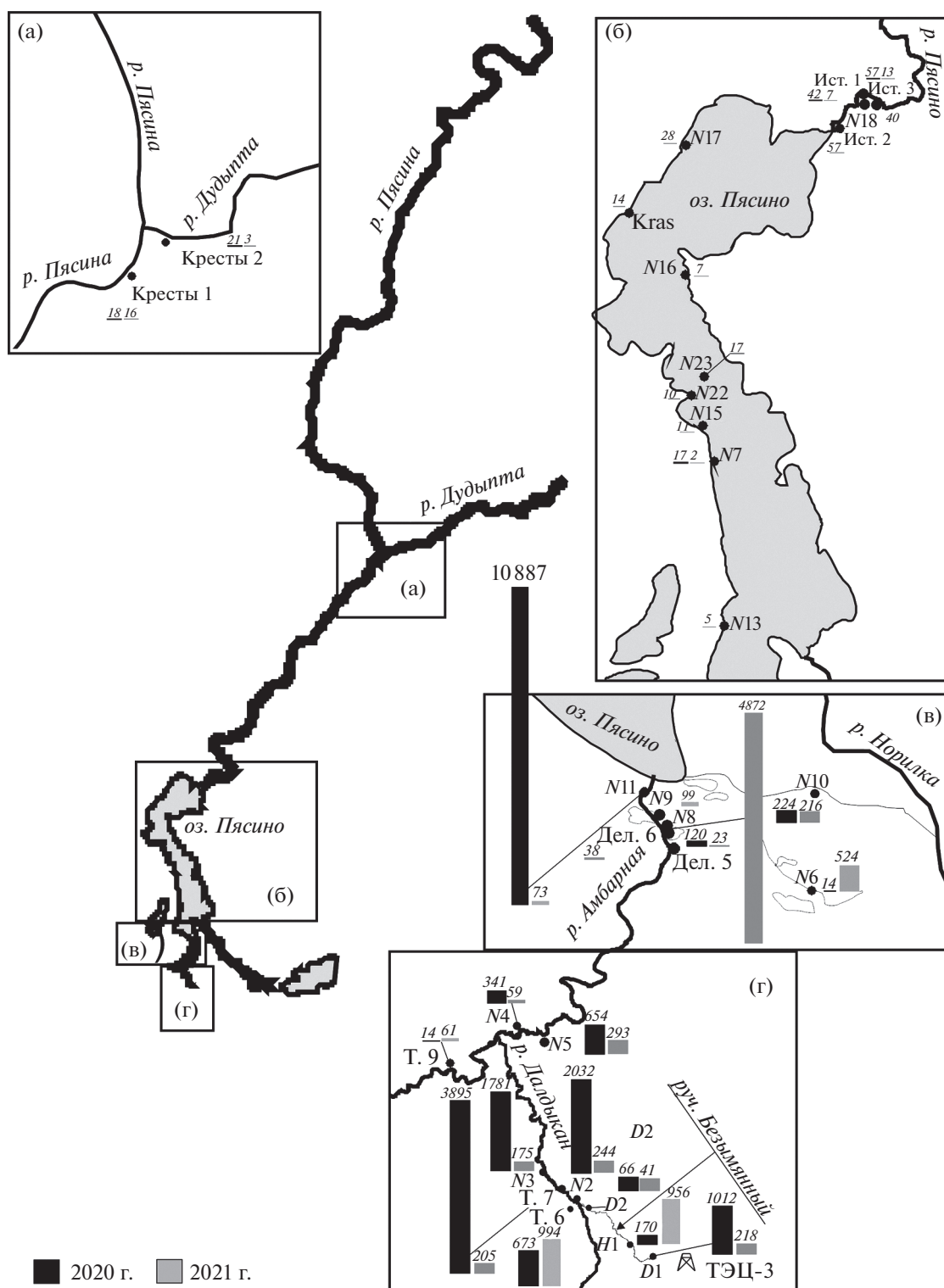
Пробы донных осадков старались отбирать в координатах 2020 г., используя специальную трубку, позволяющую получать не только поверхностный слой 0–5 см, но и колонки осадков. Из высушенных при 50°C проб ситованием выделяли фракцию 0.5 мм. Оценку содержания экстрагируемого органического вещества определяли по выходу битумоидов, экстрагированных хлороформом (ХБ).

Групповой состав ХБ определяли с помощью жидкостно-адсорбционной колоночной хрома-

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова  
Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения  
Российской академии наук, Якутск, Россия

\*E-mail: nemir44@mail.ru



**Рис. 1.** Карта-схема территории отбора проб в НПВС и концентрации УВ (столбцы, мкг/г) в донных осадках через 2 мес (2020 г.) и через год (2021 г.) после аварийного разлива ДТ.

тографии после осаждения асфальтенов. Комплекс аналитических исследований включал: изучение структурно-группового состава ХБ и их фракций методом ИК-Фурье спектроскопии;

определение содержания  $C_{орг}$  — методом сухого сжигания; определение состава алканов — методом хромато-масс-спектрометрии, концентрации полициклических ароматических углеводо-

родов (ПАУ) — флуоресцентным методом, а их состав — методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Подробности аналитических процедур описаны [4–6].

В 2021 г. маршрут экспедиции включал четыре ключевых участка (рис. 1): первый — руч. Безымянный (от места аварии до устья) — р. Далдыкан — р. Амбарная; второй — устье р. Амбарная до впадения в оз. Пясино; третий — оз. Пясино; четвертый — р. Пясино (от истока до района слияния с р. Дудыпта).

На первом участке содержание ХБ в поверхностном слое изменялось от 129 до 6301 мкг/г, в среднем лишь незначительно уменьшилось по сравнению с 2020 г.: с 1617 до 1494 мкг/г (табл. 1). При этом практически на всех станциях произошло уменьшение количества УВ в составе ХБ по сравнению с 2020 г.: с 47.4 до 27.3%. Исключение установлено на фоновой незагрязненной ст. Т9. В донных осадках второго участка, в устьевой области р. Амбарная, как в 2020 г., так и в 2021 г. наблюдались наиболее высокие концентрации ХБ. Тем не менее в 2021 г. их содержание в среднем уменьшилось в 1.8 раза с 2221 до 1232 мкг/г так же, как количество УВ — с 62.4 до 42.9% (в 1.5 раза). Последнее вызвало увеличение бензольных и спиртобензольных смол (табл. 1). В меньшей степени произошло изменение относительного количества асфальтенов. Однако количество УВ в составе ХБ на первом и втором участках оставалось более высоким, чем в оз. Пясино и в р. Пясино (в среднем 13 и 16.8% соответственно).

Средние концентрации УВ, которые считаются нефтяными [5, 7, 8], в зависимости от участка уменьшались в последовательности (мкг/г): устье р. Амбарная (835,  $\sigma = 1788$ ) > руч. Безымянный — р. Далдыкан — р. Амбарная (306,  $\sigma = 273$ ) > р. Пясино (23,  $\sigma = 20$ ) > оз. Пясино (12,  $\sigma = 8$ ). Столь высокие значения стандартного отклонения ( $\sigma$ ) обусловлены неравномерным аккумулярованием загрязнения осадками разного гранулометрического типа, определяющего их разные сорбционные свойства.

Состав алканов различался как для разных участков, так и по сравнению с 2020 г. На первом и втором участках в донных осадках содержание н-алканов было значительно ниже (в среднем 51–63%), чем третьем и четвертом, так как в их составе доминировали легкие гомологи, поэтому отношение  $L/H = (\Sigma C_{12}-C_{20}/\Sigma C_{21}-C_{33}) > 1$ . Напротив, в оз. Пясино и в р. Пясино: н-алканы составляли 87–90% от суммы, но в их составе доминировали высокомолекулярные нечетные гомологи  $C_{25}-C_{29}$ , отношение  $L/H < 1$  (0.13–0.53), а значения СРІ (отношение нечетных к четным гомологам:  $\Sigma(C_{13}-C_{31}) + \Sigma(C_{15}-C_{33})/2\Sigma(C_{14}-C_{32})$ ) были значительно выше (3.06–6.69), чем в осадках первого и второго участков (1.24–1.30). В частности, на

мелководье на ст. N5 (р. Амбарная, гл. 0.8 м) при прогреве воды в 2021 г. произошло развитие фитопланктона, в результате в составе алканов осадков увеличилось количество автохтонного гомолога н- $C_{17}$  (рис. 2 а). На ст. N11, где содержание УВ уменьшилось в 49 раз раз, по сравнению с 2020 г. в составе алканов доминировали аллохтонные наиболее устойчивые нечетные гомологи н- $C_{23}-C_{29}$  (рис. 2 б).

Поэтому на ст. N11 количество н-алканов возросло до 90.1%, значение СРІ увеличилось до 3.06, а отношение  $L/H$  уменьшилось до 0.20. В отдельных случаях, особенно в осадке заболоченной части устья р. Амбарная, в низкомолекулярной области доминировали четные гомологи н- $C_{16, 18}$ , маркеры микробного разложения алканов [9].

Концентрации ПАУ в донных осадках в 2021 г. изменялись от аналитического нуля до 1027 нг/г, т.е. в меньшем интервале, чем в 2020 г., когда максимальная величина составила 3865 нг/г. В составе ПАУ на первом и втором участках, наряду с наиболее распространенным в природе фенантеном, доминировал 2-метилнафталин — маркер нефтяного генезиса полиаренов [3, 10–12].

Распределение УВ в осадочной толще различалось в зависимости от района. Показательны в этом плане данные, полученные в осадке заболоченной части устья р. Амбарная на ст. N10 (рис. 3). Наибольшее увеличение УВ приурочено к гор. 30–35 см, где количество н-алканов уменьшилось до 19.5%, а изопреноидов наоборот возросло до 53%. Поэтому коэффициент  $K_i = (i-C_{19} + i-C_{20})/(n-C_{17} + n-C_{18})$  увеличился в 4.5 раза (до 24.2), а отношение  $Ph/n-C_{18}$  — до 29.

Концентрации ПАУ на ст. N10 от поверхности к гор. 30–35 см увеличились практически в 2 раза: от 424 до 862 нг/г. В составе ПАУ в толще осадка произошел рост содержания 2-МеНАФ (от 56 до 283 нг/г). В меньшей степени увеличились концентрации ФЕН (от 88 до 154 нг/г), ФЛТ (от 31 до 66 нг/г), ПР (от 20 до 30 нг/г) и ХР (от 11 до 13 нг/г), а содержание БаП уменьшилось с 10 до 5 нг/г так же, как ИНП (с 7 до 5 нг/г). При этом сумма НАФ от поверхностного до гор. 30–35 см увеличилась от 39.4 до 55.6% от суммы ПАУ. Отношение  $\Sigma НАФ/ФЕН$  возросло с 1.9 до 3.1, а ФЛ/ПР (с 1.5 до 2.2).

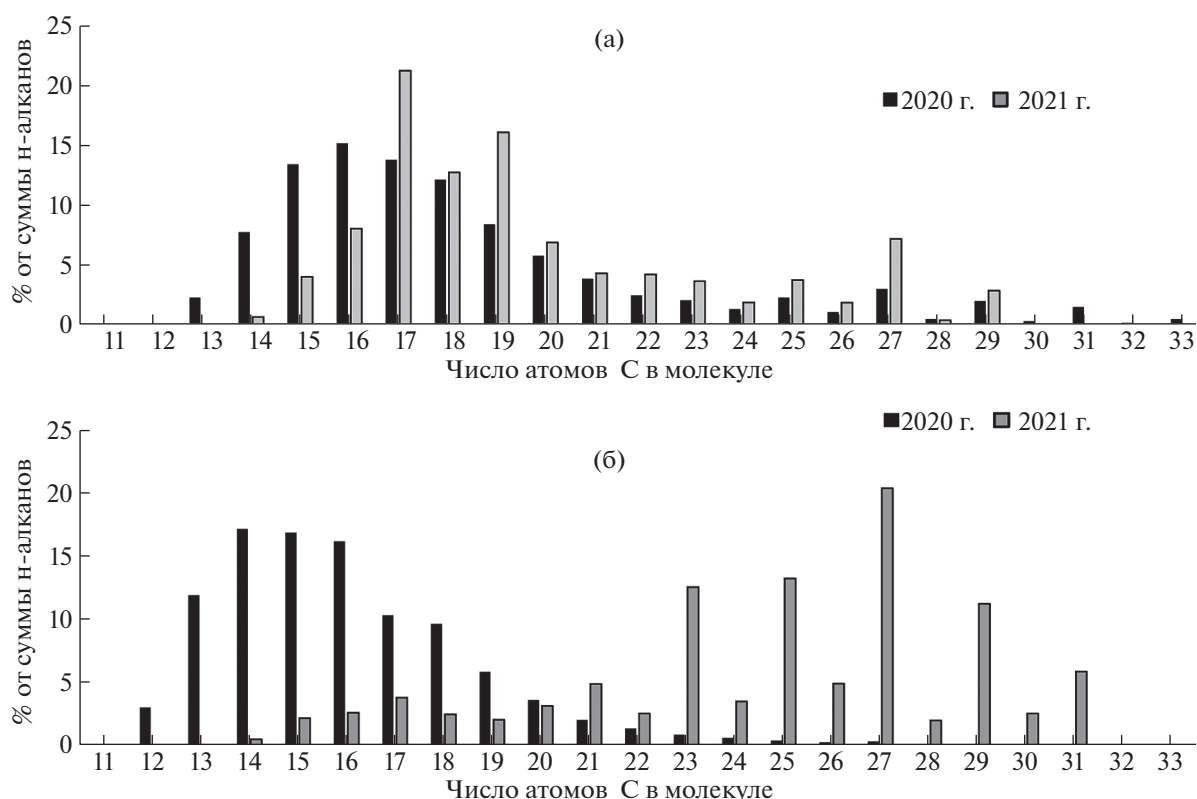
На ст. N6 в слое 25–30 см в осадочной толще также наблюдалось увеличение концентраций УВ, а в составе алканов изо-соединений — в 3.5 раза (до 53.02%), за счет уменьшения н-гомологов в 3.9 раза (до 19.41%), при этом коэффициент  $K_i$  возрос в 19.1 раза (до 24.17). В низкомолекулярной области выделялся пик н- $C_{16}$  — маркер микробной трансформации алканов [9].

В оз. Пясино и в р. Пясино с глубиной захоронения (станции N16, N18) наблюдалось бимо-

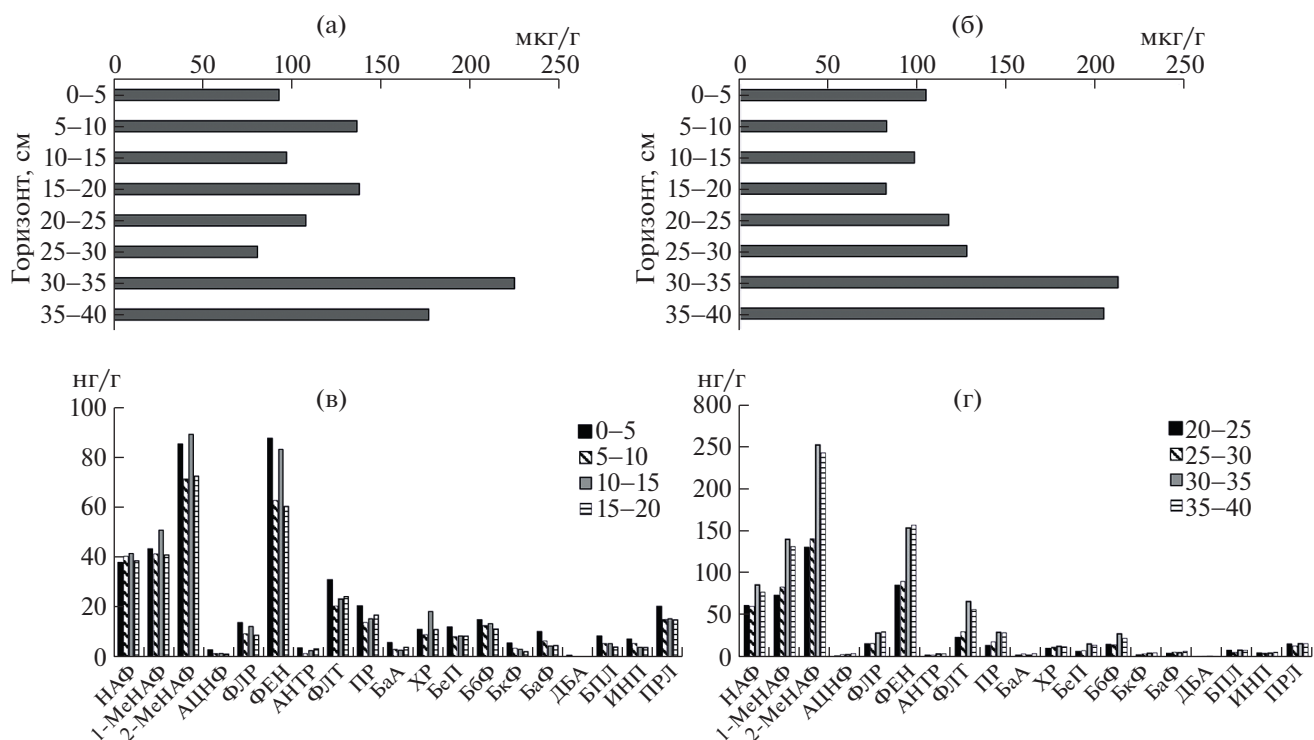
Таблица 1. Содержание и групповой состав ХВ поверхностного слоя донных осадков НПВС

| Участок исследования                           | Станции                                                          | n* | С <sub>орг</sub> , % | ХВ, мкг/г           | Групповой состав ХВ, % |                     |                     |                     |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----|----------------------|---------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                                                |                                                                  |    |                      |                     | УВ                     | Бензольные смолы    | Спирто-бенз. смолы  | Асфальтены          |
|                                                |                                                                  |    | Интервал<br>Среднее  | Интервал<br>Среднее | Интервал<br>Среднее    | Интервал<br>Среднее | Интервал<br>Среднее | Интервал<br>Среднее |
| 2020 г.                                        |                                                                  |    |                      |                     |                        |                     |                     |                     |
| Руч. Безымянный –<br>р. Далдыкан – р. Амбарная | T1 – T10, 1a, 2a, 4a, 5a                                         | 14 | 0.050–5.992<br>1.264 | 58–9650<br>1617     | 24.3–66.7<br>47.4      | 4.3–40.9<br>19.7    | 2.1–28.9<br>15.5    | 0.2–52.1<br>17.1    |
|                                                | Амб. 1-Амб. 4, Амб. 6, Амб. 7<br>Дел. 1, Дел. 4, Дел. 5          | 9  | 0.254–1.510<br>0.729 | 27–11556<br>2221    | 43.3–94.2<br>62.4      | 1.9–24.5<br>13.1    | 8.1–29.5<br>19.9    | 0.1–12.3<br>4.6     |
| Озеро Пясино                                   | оз.10 – оз.13                                                    | 4  | 0.040–0.300<br>0.180 | 20–43<br>33.3       | 34.5–59.5<br>43.9      | 5.4–16.7<br>11.1    | 32.4–44.0<br>37.1   | 2.7–20.7<br>7.9     |
| Р. Пясино (от истока<br>до устья р. Таря)      | Ист. 1, Ист. 3, Ист. 9,<br>Кресты 1, Кресты 2,<br>Таря 1, Таря 2 | 7  | 0.080–0.594<br>0.292 | 30–411<br>187       | 7.1–40.4<br>22.9       | 12.8–34.8<br>22.4   | 33.5–64.9<br>44.7   | 1.9–35.3<br>9.9     |
|                                                | Кар. 1<br>Кар. 3                                                 | 2  | 2.734,<br>6.810      | 122,<br>7489        | 65.2,<br>7.9           | 12.8,<br>15.1       | 18.3,<br>30.9       | 3.7,<br>46.0        |
| 2021 г.                                        |                                                                  |    |                      |                     |                        |                     |                     |                     |
| Руч. Безымянный –<br>р. Далдыкан – р. Амбарная | D1, D2, N1, N1, N2–N5,<br>T6, T7, T9                             | 11 | 0.476–1.737<br>0.885 | 129–6301<br>1494    | 13.5–36.6<br>27.3      | 13.3–63.0<br>32.7   | 5.0–39.5<br>21.5    | 4.0–26.2<br>13.0    |
|                                                | N6, N8–N11, Дел. 5, Дел. 6                                       | 7  | 0.939–3.044<br>1.801 | 69–5925<br>1232     | 13.5–82.2<br>42.9      | 4.3–54.7<br>26.4    | 6.6–42.1<br>23.9    | 0.9–20.8<br>6.8     |
| Озеро Пясино                                   | N7, N13, N15–N17, N22,<br>N23, Kras                              | 8  | 0.429–2.207<br>0.710 | 10–224<br>111.3     | 4.0–20.5<br>13.0       | 10.2–31.1<br>21.0   | 43.2–64.5<br>49.8   | 8.9–24.9<br>16.2    |
| Р. Пясино (от истока<br>до устья р. Дудыпта)   | N18, Ист. 1–Ист. 3,<br>Кресты 1, Кресты 2                        | 6  | 0.429–1.175<br>0.711 | 35–196<br>118.5     | 8.5–20.2<br>16.8       | 12.6–22.2<br>17.9   | 32.7–72.3<br>48.3   | 6.4–30.0<br>17.0    |

Примечание. \*количество проб



**Рис. 2.** Состав алканов в поверхностном слое донных осадков на станциях N5 (а) и N11 (б) в 2020 и в 2021 г. Расположение станций приведено на рис. 1.



**Рис. 3.** Изменение с глубиной на ст. N10 концентраций УВ (а), ПАУ (б) и состава ПАУ (в, г): нафталин (НАФ), 1 – метилнафталин (1-МеНАФ), 2 – метилнафталин (2-МеНАФ), аценафтен (АЦНФ), флуорен (ФЛР), фенантрен (ФЕН), антрацен (АНТР), флуорантен (ФЛТ), пирен (ПР), бенз(а)антрацен (БаА), хризен (ХР), бенз(е)пирен (БеП), бенз(а)пирен (БаП), дибенз(а, h)антрацен (ДБА), бенз(g,h,i)перил (БПЛ), индено(1,2,3-с,d)пирен (ИНП), бенз(б)флуорантен (БбФ), бенз(к)флуорантен (БкФ), перил (ПРЛ).

дальное распределение алканов. Отношение L/H при переходе от поверхностного к подповерхностному слою изменялось от 0.11–0.13 до 2.51–3.11, т.е. на определенных горизонтах наблюдался рост в составе алканов легких гомологов. При этом в высокомолекулярной области увеличивалось количество нечетных алканов, что привело к росту значений CPI. Скорее всего, это обусловлено изменением вещественного состава осадков, так как с глубиной захоронения происходит переслаивание алевритового и глинистого материала разной крупности [13]. Если слой 0–5 см состоял из мелкозернистого песка темно-коричневого цвета, то на глубине >10 см осадок приобретал оливково-темно-серый цвет опесчаненного алеврита, а на глубине >20 см – состоял из мелкого алеврита. Подобное изменение осадочной толщи формируется при смене озерного осадконакопления на речное [13].

Таким образом, через год после разлива, несмотря на низкие арктические температуры, изменились не только концентрации органических соединений в донных осадках, но и групповой компонентный состав ХБ, так как уменьшилось количество УВ, и увеличились смолистые компоненты (табл. 1). Смолы и асфальтены малодоступны процессам биodeградации, метаболитизм этих соединений происходит медленно, иногда десятки лет. Скорости трансформации таких крупных молекул ограничены низкой растворимостью и скоростью массопереноса в водной среде, поэтому они медленнее разрушаются микроорганизмами [14]. Примечательно, что после аварии “Эксон Валдез” даже через 8 лет в донных осадках наименее выветренной оказалась асфальтеновая фракция битумоидов [15].

Концентрации УВ в составе ХБ на первом и втором участках НПВС (в среднем 27.3 и 42.9% соответственно) оставались более высокими, чем в оз. Пясино и в р. Пясины (в среднем 13.0 и 16.8% соответственно). Кроме того, последовательность в распределении средних концентраций УВ (в пересчете на сухой вес) в поверхностных донных осадках в 2021 г. сохранилась, и так же, как в 2020 г., наиболее высокие их величины установлены в районе аварийного разлива: в ручье Безымянном и в реках Амбарной и Далдыкан. При этом в устье р. Амбарной средние концентрации в 2021 г. снизились почти в 2 раза, а на участке руч. Безымянный–р. Далдыкан–р. Амбарная в 2.3 раза. Однако, как и раньше, максимум в содержании УВ в 2021 г. наблюдался в устье р. Амбарной на ст. N8 – 4872 мкг/г (рис. 1), 13.8% в составе  $C_{орг}$  в акватории постановки в 2020 г. боновых заграждений.

Деградация УВ привела к тому, что в донных осадках различных участков наблюдались зависимости в распределении  $C_{орг}$  и УВ, и значения

коэффициентов корреляции ( $r$ ) изменились от 0.52 до 0.85. Тем не менее, при фоновом содержании УВ в илистых донных осадках 50 мкг/г [5, 16], на первом участке их концентрации превышают фон в 6 раз, а на втором – в 19 раз.

Примечательно, что в 2020 и 2021 г. в осадках оз. Пясины (19 и 12 мкг/г соответственно) и в р. Пясины (23 и 27 мкг/г соответственно) концентрации УВ в поверхностном слое практически остались на одном уровне. Необходимо учитывать, что в этом районе природный углеводородный фон в донных осадках повышен, так как помимо сульфидных руд известны крупные угольные месторождения, а также нефтепроявления. В частности, скважинами были вскрыты природные битумы в долине р. Норилка [13, 17]. При этом в составе  $C_{орг}$  доля УВ не превышала 1%, что характерно для природных соединений [7]. Их концентрации также зависят и от особенностей течения рек на различных участках, а также от гранулометрического состава отложений [7, 13].

Преобладание четных низкомолекулярных н-алканов в верхнем слое отложений связывают с наличием в составе ОВ продуктов бактериальной биodeградации нефтяных компонентов, или с вкладом продуктов жизнедеятельности микробиоты [9, 19]. Для загрязненных ДТ осадков первого и второго участков микробная деградация н-алканов также привела к росту четных гомологов в низкомолекулярной области. Напротив, в большинстве проб оз. Пясино и в р. Пясины в составе алканов преобладали нечетные наиболее устойчивые аллохтонные гомологи н- $C_{25}$ –н- $C_{29}$ . Низкомолекулярные гомологи доминировали только в более глубоких горизонтах на ст. N16 (5–10 см) и N18 (10–15 см), где значения L/H составили 2.5 и 3.1 соответственно, т.е. в подповерхностном слое происходит автохтонное образование алканов.

Присутствие нефтепродуктов в донных осадках первого и второго участков подтвердили результаты ИК-Фурье спектроскопии, а также индивидуальный состав алканов и ПАУ. Несмотря на уменьшение количества легких алканов, их распределение осталось бимодальным (с максимумом н- $C_{16}$  и н- $C_{17}$ ) и с ростом алкилированных нафталинов для ПАУ. Накопление более сложных и разветвленных молекул, с циклической структурой приводит к нарастанию токсичности нефтяного загрязнения в донных осадках, так как алкилированные полиарены более токсичные, чем незамещенные [10, 20].

Разложение УВ видимо в основном осуществлялось за счет утраты низкомолекулярных н-алканов, так как на хроматограммах алканов практически отсутствовал “горб” (UCM) неразрешенных нефтеноароматических соединений.

В толще осадков первого и второго участков повышенное количество алифатических УВ и ПАУ приурочено к нижним горизонтам (рис. 3 а, б). Возможно, ДТ просочилось на глубину (за счет миграции и перераспределения), а также могло быть погребено паводком 2021 г. Кроме того, более высокие величины в осадочной толще могут возникать из-за привноса органических веществ с заболоченных участков и пойменных озер. В результате состав н-алканов в глубинных горизонтах оказывался более “биогенным”, так как увеличивается количество низкомолекулярных гомологов (в частности  $n\text{-C}_{16}$ ).

### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Результаты работы получены в рамках Госзадания Министерства науки и высшего образования РФ № 122011200369-1 с использованием научного оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН в рамках гранта № 13.ЦКП.21.0016, экспедиции проведены при финансовой поддержке АО “НТЭК” и СО РАН; анализы — за счет госзадания Минобрнауки России (тема № FM-WE-2021-0015), подготовка к публикации — при поддержке РНФ (проект 19-17-00234-П).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сазонов А.Д., Комаров Р.С., Передера О.С. Разлив нефтепродуктов в Норильске 29 мая 2020 года: предполагаемые причины и возможные экологические последствия // Экологические исследования и экологический мониторинг. 2020. № 1–5. С. 173–177.
2. Трошко К.А., Денисов П.В., Лаврова О.Ю. и др. Наблюдение загрязнений реки Амбарной, возникших в результате аварии на ТЭЦ-3 города Норильска 29 мая 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 3. С. 267–274.
3. Немировская И.А., Глянцева Ю.С., Флинт М.В. Изучение последствий аварийного разлива дизельного топлива в Норильске // ДАН, Науки о Земле, 2021, Т. 501. № 1. С. 84–89.
4. Глянцева Ю.С., Немировская И.А. Особенности распределения битумоидов в донных осадках Баренцева моря // Океанология 2020. № 6. С. 945–953.
5. Качество морских вод по гидрохимическим показателям // Ежегодник 2020. под ред. Коршенко А.Н. Иваново: ПрессСто. 2022. 240 с.
6. Lifshits S., Glyaznetsova Y., Erofeevskaya L., et al. Effect of oil pollution on the ecological condition of soils and bottom sediments of the arctic region (Yakutia) // Environ. Pol. 2021; 288: 117680. <https://www.ciedirect.com/science/journal/02697491>
7. Немировская И.А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М.: Научный мир. 2013. 432 с.
8. Термердашев З.А., Павленко Л.Ф., Корпакова И.Г. и др. Об ограниченности термина “нефтепродукты” при определении загрязнения донных отложений // Журнал аналитической химии. 2017. № 10 (72). С. 952–958.
9. Nishumura M., Baker E.W. Possible origin of n-alkanes with remarkable even-to-odd predominance in recent marine sediments // Geochim. Cosmochim. Acta. 1986. V. 50. № 2. P. 299–305.
10. AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme). Ch. 4. Sources, Inputs and Concentrations of Petroleum Hydrocarbons, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, and other Contaminants Related to Oil and Gas Activities in the Arctic. Oslo: 2007. AMAP. 87 p.
11. Morales-Caselles C., Yunker M.B., Ross P.S. Identification of Spilled Oil from the MV Marathassa (Vancouver, Canada 2015) Using Alkyl PAH Isomer Ratios // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2017. V. 73. P. 118–130.
12. Yunker M.B., Macdonald R.W., Ross P.S., et al. Alkane and PAH provenance and potential bioavailability in coastal marine sediments subject to a gradient of anthropogenic sources in British Columbia, Canada // Org. Geochem. 2015. № 89–90. P. 80–116.
13. Таран О.П., Скрипников А.М., Ионин В.А. и др. Состав и концентрация углеводородов донных отложений в зоне разлива дизельного топлива ТЭЦ-3 АО “НТЭК” (г. Норильск, Арктическая Сибирь) // Сиб. Экол. жур. 2021. № 4. С. 423–450.
14. Michel J., Hayes M.O. Weathering Patterns of oil Residues Eight Years after the Exxon Valdes Oil Spill // Mar. Poll. Bull. 1999. V. 38. № 10. P. 855–863.
15. Page C.A., Bonner J.S., Sumner P.L., Autenrieth R.L. Solubility of petroleum hydrocarbons in oil-water systems // Mar. Chem. 2000. V. 70. P. 79–87.
16. Tolosa I., Mora S., Sheikholeslami M.R., et al. Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments // Mar. Poll. Bull. 2004. V. 48. P. 44–60.
17. 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.
18. Wang Z., Fingas M.F. Development of oil hydrocarbon fingerprinting and identification techniques // Mar. Poll. Bull. 2003. V. 47. № 3. P. 423–452.
19. Леин А.Ю., Иванов М.В. Биогеохимический цикл метана в океане. М.: Наука, 2009. 560 с.
20. Jafarabadi A.R., Dashtbozorg M., Mitra S., et al. Historical sedimentary deposition and ecotoxicological impact of aromatic biomarkers in sediment cores from ten coral reefs of the Persian Gulf, Iran // Science of the Total Environment 2019. 696. 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133969>

## CHANGES IN CONTENT AND COMPOSITION OF HYDROCARBONS IN THE BOTTOM SEDIMENTS OF THE NORILO-PYASINSK WATER SYSTEM A YEAR AFTER THE EMERGENCY DIESEL FUEL SPILL

I. A. Nemirovskaya<sup>a, #</sup>, Yu. S. Glyaznetsova<sup>b</sup>, and Corresponding Member of the RAS A. V. Sokov<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

<sup>b</sup>*Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation*

<sup>#</sup>*E-mail: nemir44@mail.ru*

One year after the emergency diesel fuel spill in Norilsk, hydrocarbon concentrations in bottom sediments of the Norilo-Pyasinsky water system decreased. But on average in the areas they decreased in the same sequence ( $\mu\text{g/g}$ ) as in 2020: the mouth of the Ambarnaya R. ( $835, \sigma = 1788$ ) > Bezmyanny Cr. – the Daldykan R. – the Ambarnaya R. ( $306, \sigma = 273$ ) > Pyasina R. ( $23, \sigma = 20$ ) > Lake Pyasino ( $12, \sigma = 8$ ). Concentrations decreased due to degradation of low molecular weight hydrocarbons. The content of polycyclic aromatic hydrocarbons in 2021 also changed in a smaller range ( $0\text{--}1027 \text{ ng/g}$ ) than in 2020 ( $0\text{--}3865 \text{ ng/g}$ ). Petroleum origin of hydrocarbons in the sediments of the Ambarnaya R. (including the mouth), Bezmyanny Cr. and Daldykan R. confirms the dominance of alkylated naphthalene homologues in their composition. Hydrocarbons accumulation in some horizons of the sedimentary strata is caused not only by seepage of diesel fuel, but also to the introduction of organic matter from the surrounding swamps from wetlands and floodplain lakes, as well as the burial of the surface layer by the 2021 flood.

**Keywords:** emergency spill, diesel fuel, bottom sediments, chloroform bitumoid, hydrocarbons, alkanes, polycyclic aromatic hydrocarbons