

Д. В. Федоров (м.н.с.)¹, Е. А. Ельчанинова (к.х.н., с.н.с.)¹,
О. В. Серебренникова (д.х.н., проф., зав.лаб.)¹, И. В. Русских (к.х.н., с.н.с.)¹,
П. Б. Кадычагов (к.х.н., с.н.с.)¹, М. Н. Немцев (асп.)²

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ И ФОНОВЫХ ПОЧВАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ХМАО-ЮГРА

¹ Институт Химии нефти Сибирского отделения Российской Академии наук,
лаборатория природных превращений нефти
634055, г. Томск, Академический пр., 4; e-mail: denilletti@gmail.com

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30; e-mail: marknemtzev@yandex.ru

D. V. Fedorov¹, E. A. Elchaninova¹, O. V. Serebrennikova¹,
I. V. Russkikh¹, P. B. Kadychagov¹, M. N. Nemtsev²

SPECIFIC FEATURES OF ORGANIC MATTER DISTRIBUTION IN OIL POLLUTED AND BACKGROUND SOILS OF KHANTY-MANSI AUTONOMOUS OKRUG FIELDS

¹ Institute of Petroleum Chemistry of Siberian Branch of Russian Academy of Science
4, Akademicheskij Prospekt Str., 634055, Tomsk, Russia; e-mail: denilletti@gmail.com

² National Research Tomsk Polytechnic University
30, Prospekt Lenina Str., 634050, Tomsk, Russia; e-mail: marknemtzev@yandex.ru

На основе исследования нефтезагрязненных и фоновых почв Мамонтовского и Петелинского месторождений Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО-Югра) дана оценка содержания и состава загрязняющих органических соединений в зависимости от глубины просачивания и времени загрязнения. Загрязненные почвы отличаются высоким содержанием характерных для нефти низкомолекулярных *n*-алканов и циклогексанов, дибензотиофенов, алкилбензолов, нафталинов, фенантронов, присутствуют нефтяные насыщенные пентациклические гопаны и бициклические сесквитерпаны, в составе стеранов преобладают изомеры холестана. В фоновых почвах исследуемых территорий практически отсутствуют ароматические соединения, нет дибензотиофенов, нефтяных гопанов и сесквитерпанов, в составе *n*-алканов и циклогексанов преобладают высокомолекулярные гомологи.

Ключевые слова: Мамонтовское и Петелинское месторождения; нефтезагрязненные и фоновые почвы; органическое вещество.

In this work, oil-contaminated and background soils of the Mamontovsky and Petelinsky fields of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug were studied and the content and composition of polluting organic compounds were assessed depending on the depth of seepage and the time of pollution. Contaminated soils are characterized by a high content of low molecular weight *n*-alkanes and cyclohexanes that are typical for oil, as well as dibenzothiophenes, alkylbenzenes, naphthalenes, and phenanthrenes; there are saturated pentacyclic hopanes and bicyclic sesquiterpanes; cholestane isomers predominate in the composition of steranes. In the background soils of the studied territories, aromatic compounds are almost absent, there are no dibenzothiophenes, petroleum hopanes, and sesquiterpanes; high-molecular homologues predominate in the composition of *n*-alkanes and cyclohexanes.

Key words: Mamontovskoe and Petelinskoe fields; oil-contaminated and background soils; organic matter.

Дата поступления 18.11.22

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХН СО РАН (НИОКТР 121031500046-7), финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

Рост нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности неизбежно сопровождается разливами нефтепродуктов при добыче и транспортировке нефти, что негативно влияет на окружающую среду. По данным ¹, суммарная площадь нарушенных земель в стране в 2020 г. составила 459312.6 га.

Целью данной работы является оценка содержания и состава органических соединений в нефтезагрязненных (в зависимости от глубины залегания и времени загрязнения) и фоновых почвах на территориях Мамонтовского и Петелинского месторождений Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО-Югра).

Объекты и методы исследования

Объектами исследования явились территории Мамонтовского и Петелинского месторождений ХМАО, располагающиеся в центральной части Западно-Сибирской равнины, в Среднеобской низменности среднетаежной зоны. Мамонтовский лицензионный участок находится в Нефтеюганском районе ХМАО-Югры, к югу от г. Нефтеюганск. Общая площадь месторождения около 1000 км². Запасы нефти в залежах на глубине 1.0–2.5 км составляют 1.4 млрд т. Нефть Мамонтовского месторождения характеризуется следующими свойствами: удельный вес (плотность) 871–885 кг/м³; содержание серы 1.2–1.5 %, парафина – 2.9–3.8 %, смол – 7.6–9.1 %, асфальтенов – 2.2–3.1%; содержание нефтяного газа 41.5–60.5 м³/т².

Петелинское нефтегазовое месторождение площадью 74.23 км² расположено на территории Сургутского района ХМАО в 100 км к юго-западу от г. Нефтеюганск. Запасы нефти составляют 10.1 млн т. Нефть Петелинского месторождения характеризуется следующими свойствами: удельный вес (плотность) 871.6 кг/м³, содержание серы 1.03%, парафина – 3.46%, смол – 6.7%, асфальтенов – 2.95%; содержание нефтяного газа 43.14 м³/т².

Проведение полевых работ и пробоотбор при геоэкологических исследованиях осуществлялось с учетом природных условий территории. Исследования начинались с выбора наиболее характерных площадок, расположенных в зоне воздействия источника загрязнения и на участках, не подверженных антропогенным воздействиям. В связи с большой площадью и труднодоступнос-

The work was carried out within the framework of the state task of the Institute of Petroleum Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (project no.121031500046-7), funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

тью района работ (высокая степень заболоченности территории) геоэкологические исследования были выполнены с использованием наземного транспорта и пешеходных маршрутов. Особое внимание было уделено нарушенным вследствие аварийного разлива нефти территориям. С этой целью были обследованы нефтезагрязненные участки вблизи линий трубопроводов, производственных объектов месторождений.

На месторождениях ХМАО-Югры в 2020 г. были отобраны по три нефтезагрязненных пробы почвы с глубин 0–10, 10–30, 30–50 см (Мамонтовское – ММ(0–10), ММ(10–30), ММ(30–50) и Петелинское – ПМ(0–10), ПМ(10–30), ПМ(30–50), соответственно) и по 2 фоновых пробы почвы на разных расстояниях от границ разлива нефти: 130 и 210 м (Мамонтовское – ММ(Фон130), ММ(Фон210)), 100 и 200 м (Петелинское – ПМ(Фон100), ПМ(Фон200)), а также нефть (ПН). Разлив на Мамонтовском месторождении произошел в июле 2014 г., на Петелинском – в ноябре 2019 г. Карта-схема мест отбора проб приведена на рис. 1.

Исследуемые органические соединения выделены из высушенной загрязненной (25 г) и фоновой (25 г) почвы экстракцией 7%-ным раствором метанола в хлороформе при 65 °С в течение 2 ч. Экстракт сконцентрирован на ротаторном испарителе.

Для выделения насыщенных углеводородов (УВ) и ароматических соединений из экстрактов использовали хроматографическую колонку, представляющую собой стеклянную трубку с оттянутым нижним концом и резервуаром сверху для подачи растворителя. Длина колонки равна 400 мм, внутренний диаметр 20 мм. Колонку заполняли окисью алюминия четвертой степени активности (по Брокману) в весовом соотношении органическое вещество:Al₂O₃, равном 1:20. Адсорбент смачивали гексаном и проводили элюирование. Фракция, элюируемая гексаном, собиралась отдельно в специальную пробирку, далее в ней определяли состав насыщенных и ароматических соединений методом хроматомасс-спектрометрии (ХМС).

Детальный анализ компонентного состава гексановой фракции, содержащей углеводороды, проводили при помощи хроматомасс-спектрометра фирмы «Thermo Scientific» (Германия), аттестованного с погрешностью определения не более 5%. Газовый хроматограф использовали с



Рис. 1. Карта-схема мест отбора проб почв на местах разлива нефти и фоновых участках Мамонтовского и Петелинского месторождений

кварцевой капиллярной колонкой внутренним диаметром 0.25 мм, длиной 30 м, толщиной фазы 0.25 мкм, неподвижной фазой – TR-5MS, газ-носитель – гелий. Температура испарителя 250 °С, температура интерфейса 250 °С. Программа нагрева термостата хроматографа: $T_{нач} = 80$ °С, изотерма в течение 2 мин, за этим следует нагревание при скорости 4 °С/мин до 300 °С.

На основании ХМС анализа были идентифицированы: *n*-алканы (m/z 57), изоалканы (m/z 57), циклогексаны (m/z 83), гопаны (m/z 191), стераны (m/z 217), сесквитерпаны (m/z 123), алкилбензолы (m/z 92), метилалкилбензолы (m/z 106), нафталин и его гомологи (m/z 128, 142, 156, 170, 184), фенантрен и его гомологи (178, 192, 206, 220), флуорантен, пирен (m/z 202). Идентифицирован также дибензтиофен и его гомологи (m/z 184, 198).

Результаты и их обсуждение

Идентифицированные органические соединения, выделенные из нефтезагрязненных и фоновых почв, представлены в табл. 1, 2.

Почвы, загрязненные нефтью, отличаются более широким набором органических соединений по сравнению с фоновыми почвами (табл. 1, 2). В фоновых почвах отсутствуют сесквитерпаны, дибензотиофены и ароматические УВ, кроме

флуорантена и пирена, которые находятся в следовых количествах. Общее содержание идентифицированных соединений в фоновых образцах значительно ниже, чем в загрязненных почвах, отобранных с глубин от 0 до 50 см. Отмечено, что концентрация *n*-алканов, изоалканов и циклогексанов в фоновых почвах, отобранных на большем расстоянии от нефтеразлива (около 200 м), несколько выше, чем на более близком (около 100 м).

Было установлено, что нефтезагрязненные почвы Мамонтовского и Петелинского месторождений имеют незначительные различия по компонентному составу, существенно отличаясь по концентрации (табл. 1, 2). Групповой состав органического вещества почв на участках Мамонтовского и Петелинского месторождений представлен на рис. 2.

Присутствие *n*-алканов в природных объектах обычно связывают с продуцированием их биологическими организмами либо с привнесением из внешней среды (разливы нефтепродуктов на нефтепромыслах), на что указывает характер молекулярно-массового распределения (ММР) этих соединений^{3, 4}. Для живых организмов и современных осадков характерно значительное преобладание гомологов с нечетным числом атомов углерода над четными в ММР, в нефтях и нефтепродуктах оно сглажено и близко единице⁵.

Таблица 1

Распределение групп идентифицированных соединений в нефтезагрязненных и фоновых почвах Мамонтовского месторождения, мкг/г на сухой остаток

Соединения	Мамонтовское месторождение				
	ММ (0–10)	ММ (10–30)	ММ (30–50)	ММ (Фон130)	ММ (Фон210)
<i>n</i> -Алканы	52.98	711.21	267.05	7.12	31.40
Изоалканы	11.22	121.21	45.48	0.02	0.28
Циклогексаны	5.76	71.19	22.05	0.16	0.61
Гопаны	0.94	3.54	1.58	0	0
Гопены + олеанены	0	0	0	1.17	0.13
Стераны	3.20	10.75	4.42	0.02	0.05
Сесквитерпаны	0.67	11.04	2.55	0	0
Сумма насыщенных УВ	74.76	928.93	343.13	8.49	32.47
Алкилбензолы	6.49	86.75	28.40	0	0
Нафталины	6.30	208.64	47.52	0	0
Фенантроны	16.33	114.40	45.26	0	0
Флуорантен и пирен	0.05	0.51	0.18	0.002	0.009
Сумма ароматических УВ	29.17	410.30	121.36	0.002	0.009
Дибензотиофены	4.27	99.55	31.34	0	0

Таблица 2

Распределение групп идентифицированных соединений в нефтезагрязненных и фоновых почвах и нефти Петелинского месторождения, мкг/г на сухой остаток

Соединения	Петелинское месторождение					
	ПМ(0–10)	ПМ(10–30)	ПМ(30–50)	ПМ(Фон100)	ПМ(Фон200)	ПН
<i>n</i> -Алканы	103.50	44.70	89.90	5.48	17.04	3405.11
Изоалканы	17.50	5.20	11.16	0.03	0.10	306.36
Циклогексаны	13.15	3.26	6.07	0.08	0.28	330.53
Гопаны	1.25	0.40	0.44	0	0	27.34
Гопены + олеанены	0	0	0	0.14	0.08	0
Стераны	4.71	2.93	1.38	0.02	0.06	53.28
Сесквитерпаны	1.15	0.10	0.25	0	0	29.76
Сумма насыщенных УВ	141.27	56.59	109.19	5.76	17.57	4152.37
Алкилбензолы	14.51	3.71	7.79	0	0	231.72
Нафталины	29.25	6.30	16.98	0	0	493.23
Фенантроны	20.26	9.33	14.57	0	0	458.09
Флуорантен и пирен	0.05	0.02	0.04	0.003	0	0.91
Сумма ароматических УВ	64.07	19.36	39.38	0	0	1183.95
Дибензотиофены	10.90	3.72	8.64	0	0	184.82

Коэффициент нечетности (CPI – *carbon preferences index*) характеризует преобладание в органическом веществе *n*-алканов с нечетным (>1), или четным числом атомов углерода в молекуле. Этот индекс рассчитывали по формуле:

$$CPI = \frac{2 \sum (C_{21} + C_{23} + C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31})}{\sum (C_{20} + C_{22} + C_{24} + C_{26} + C_{28} + C_{30}) + \sum (C_{22} + C_{24} + C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32})}$$

CPI хорошо отображает нефтезагрязнения по соотношению нечетных к четным *n*-алканам⁶.

На рис. 3 приведены значения индекса CPI, который в фоновых образцах изменяется от 2.1 до 3.7, а в загрязненных приближается к 1, за исключением ПМ(10–30), где показатель индекса равен 1.5. В нефти индекс CPI равен 0.9.

В пробах нефтезагрязненных почв Мамонтовского и Петелинского месторождений ММР *n*-алканов носит однотипный характер распределения с преобладанием гомологов C₁₃–C₂₅ с мак-

симумом, преимущественно, на C₁₆. В фоновых почвах двух месторождений доминируют нечетные гомологи C₂₃–C₃₃ с максимумом на C₃₁ (рис. 4).

В целом по ММР в нефтезагрязненных почвах отмечено значительное преобладание низкомолекулярных гомологов *n*-алканов (область C₁₃–C₂₆) над высокомолекулярными (рис. 4). Кривая ММР от пробы, отобранной с глубины 10–30 см, где визуальное было определено сильное загрязнение этого слоя, сглаживается к пробе, отобранной на поверхности, где уже наблюдаются процессы самовосстановления. В ММР *n*-алканов фоновых проб максимальное содержание приходится на высокомолекулярные алканы C₂₉ и C₃₁, что может свидетельствовать о влиянии на состав исходного вещества не нефтяных загрязнений, а наземной растительности⁷.

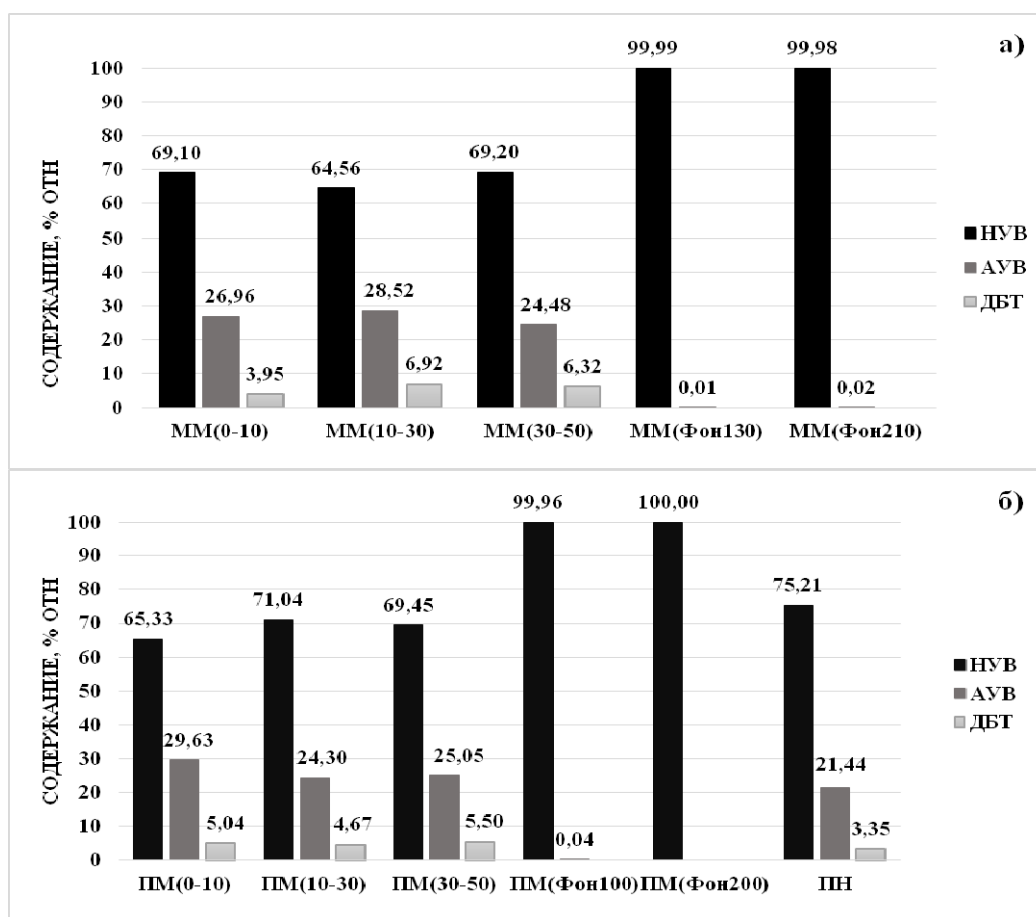


Рис. 2. Относительное распределение соединений в нефтезагрязненных и фоновых почвах месторождений Мамонтовское (а) и Петелинское (б) и нефти Петелинского месторождения, % отн.: НУВ – насыщенные углеводороды; АУВ – ароматические углеводороды; ДБТ – дибензотиофены

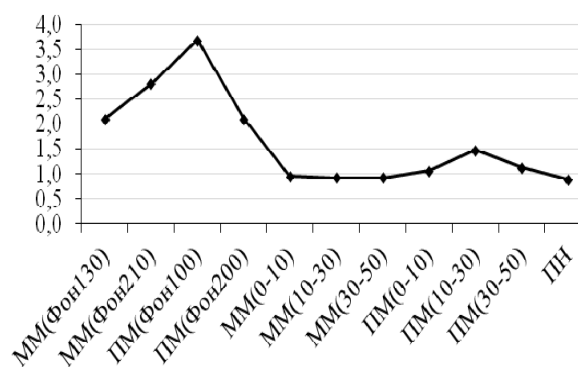


Рис. 3. Распределение значений индекса CPI, рассчитанного для фоновых и загрязненных образцов Мамонтовского и Петелинского месторождений и нефти Петелинского месторождения

Отмечены значительные изменения содержания *n*-алканов в нефтезагрязненной почве по глубине на обоих месторождениях. В пробах почв, отобранных на Мамонтовском месторождении, наибольшее содержание *n*-алканов было обнаружено в образце, отобранном с глубины 10–30 см (ММ(10–30)) с максимальным содержанием алкана C_{16} (79.54 мкг/г).

Такое же распределение, но с меньшим содержанием *n*-алканов, наблюдается на глубине 30–50 см (ММ(30–50)), где максимум C_{16} составляет 31.76 мкг/г. Еще меньшим содержанием с максимумом ММР *n*-алканов, приходящимся на C_{17} (6.05 мкг/г), характеризуется почва с поверхности (ММ(0–10)). Пониженное содержание *n*-алканов в поверхностном слое почвы может быть обусловлено выветриванием или биodeградацией этих соединений за 6 лет, прошедших после разлива нефти, а на глубине 30–50 см – их частичной сорбцией по пути просачивания нефти.

Как видно из рис. 4, в пробах, отобранных на Петелинском месторождении, в нефтезагрязненных образцах (ПМ(0–10), ПМ(10–30), ПМ(30–50)) также наблюдается значительное преобладание низкомолекулярных гомологов C_{13} – C_{26} с максимумами C_{16} (11.16 мкг/г), C_{19} (5.16 мкг/г), C_{18} (9.86 мкг/г), соответственно. Самое большое содержание низкомолекулярных *n*-алканов было обнаружено в образце с поверхности (ПМ(0–10)), вероятно, вследствие того, что разлив в месте отбора проб произошел в 2019 г., и нефть не успела

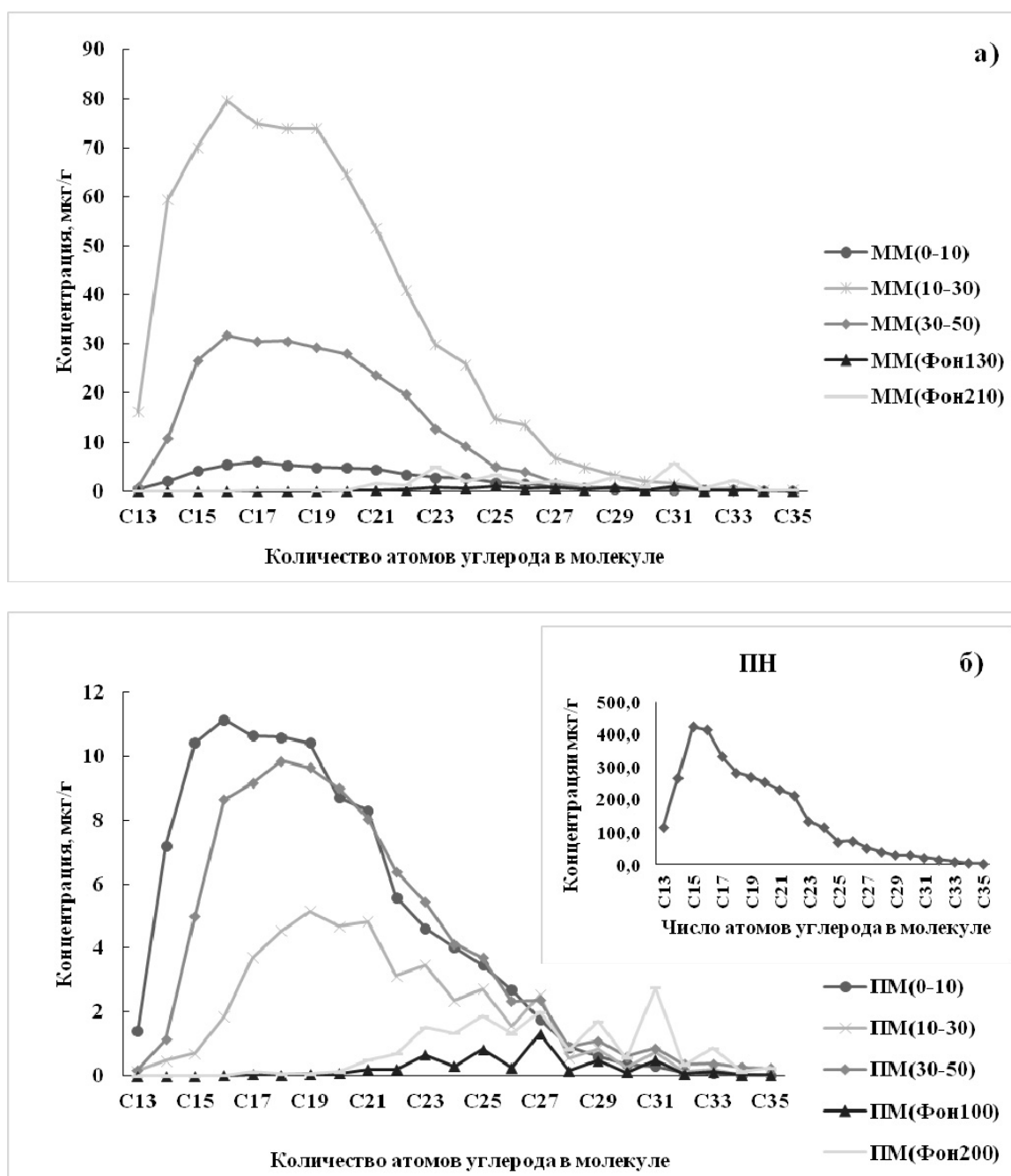


Рис. 4. Молекулярно-массовое распределение *n*-алканов в нефтезагрязненных почвах месторождений Мамонтовское (а) и Петелинское и нефти Петелинского месторождения (б)

просочиться в более глубокие слои и преобразоваться на поверхности. В ММР *n*-алканов фоновых проб максимальное содержание приходится на C_{27} , C_{29} , C_{31} .

Среди цикланов идентифицированы циклогексаны, гопаны, гопены, стераны и сесквитерпаны (табл. 1, 2). Среди них максимальное содержание в образцах обоих месторождений приходится на циклогексаны. В ряду циклогексанов состава C_{13} – C_{31} в почвах, подверженных нефтяному загрязнению, доминируют низкомолекулярные гомологи состава C_{14} – C_{24} с максимумами C_{15} , C_{18} , C_{21} (рис.

5а). Максимальное содержание циклогексанов нефтезагрязненных почв Мамонтовского месторождения приходится, как и в случае *n*-алканов, на глубину 10–30 см – 71.19 мкг/г, снижается на глубине 30–50 до 22.05 мкг/г и минимально на поверхности – 5.76 мкг/г. В фоновых образцах преобладают гомологи C_{27} – C_{33} , однако они присутствуют в незначительных, не превышающих 0.08 мг/г, количествах (рис. 5б и табл. 1).

Аналогичную картину распределения циклогексанов имеют загрязненные и фоновые почвы Петелинского месторождения, с той разницей, что

максимальная их концентрация приходится на образец почвы, отобранной с поверхности – 13.15 мкг/г, далее их содержание по разрезу снижается (табл. 2, рис. 5в,г).

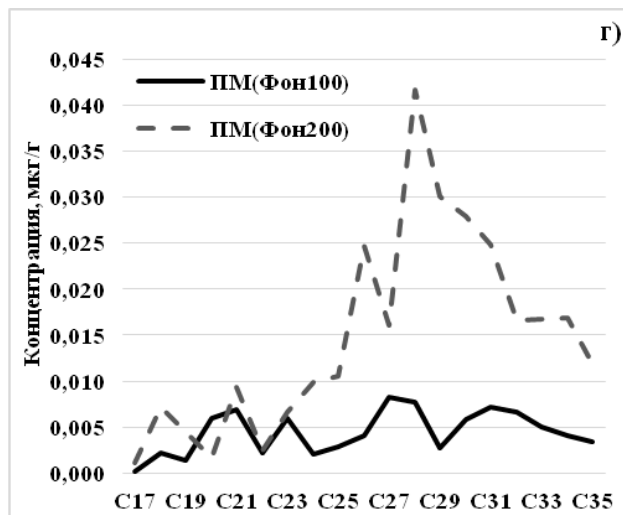
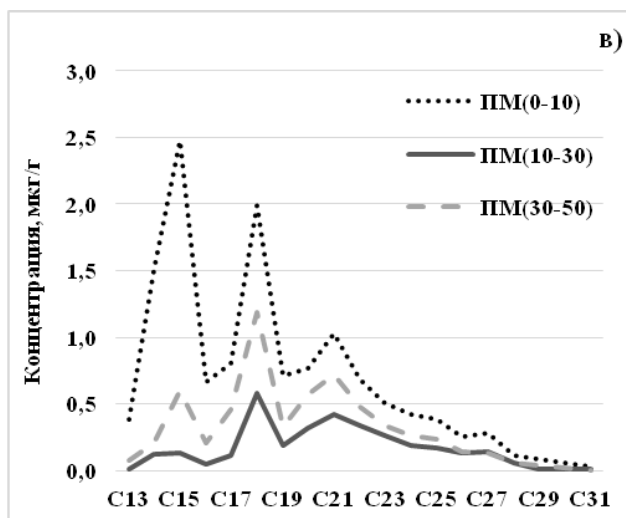
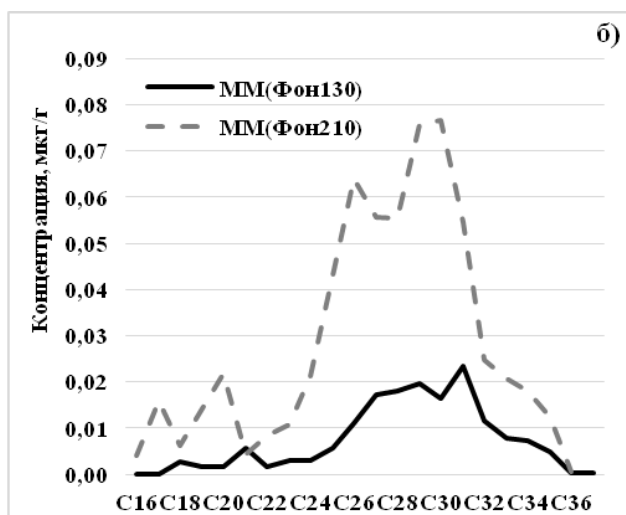
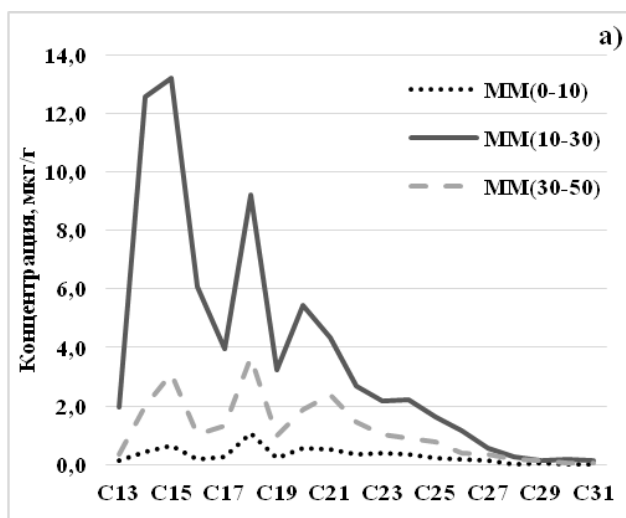


Рис. 5. Молекулярно-массовое распределение циклогексанов в нефтезагрязненных (а) и фоновых (б) почвах Мамонтовского, (в) и (г) – Петелинского месторождений

Нефтезагрязненные пробы обоих месторождений содержат больше тетрациклических стеранов и бициклических сесквитерпанов, чем пентациклических гопанов (табл. 1, 2), а в фоновых образцах гопапы и сесквитерпаны отсутствуют. По разрезу нефтезагрязненной почвы Петелинского месторождения содержание этих трех групп соединений пропорционально снижается с увеличением глубины. В почве Мамонтовского месторождения с глубиной меняется не только общее содержание полициклических нафтенных аналогов, но и соотношение внутри них отдельных групп. В верхнем слое почвы при низкой общей концентрации преобладают стераны, доля сесквитерпанов минимальна. На глубине 10–30 см на фоне возрастания содержания всех этих групп соединений резко увеличивается доля сесквитерпанов, даже несколько превышая концентрацию стеранов. С увеличением глубины содержание полинафтенных соединений снижается, но концентрация сесквитерпанов остается повышенной по отношению к гопанам.

В составе стеранов загрязненных почв Мамонтовского месторождения преобладают регулярные стераны состава C_{27} (производные холестерина), при этом с глубиной их относительное содержание уменьшается с 41.5% на поверхности, до 37.5% на глубине 30–50 см. В почвах Петелинского месторождения, напротив, наблюдается увеличение относительного содержания стеранов состава C_{27} с глубиной – от 36.6 до 40 % (рис. 6).

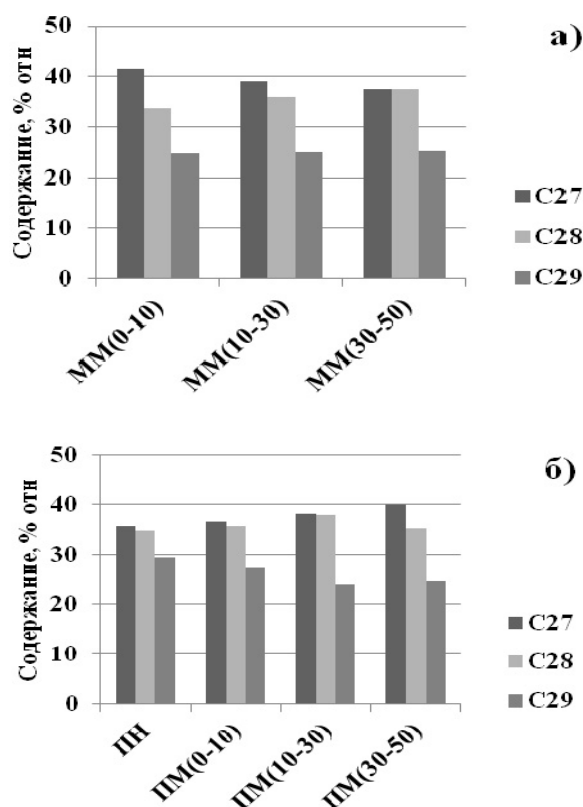


Рис. 6 Распределение стеранов состава C₂₇–C₂₉ в нефтезагрязненной почве Мамонтовского месторождения (а), и в нефтезагрязненной почве и нефти Петелинского месторождения (б)

Наибольшие отличия в фоновых и нефтезагрязненных образцах отмечены по составу пентациклических тритерпеноидов – насыщенных гопанов, характерных для нефти и присутствующих в нефтезагрязненных почвах, и зафиксированных в фоновых образцах мононенасыщенных соединений – гопенов и олеаненов, характерных для природных веществ. Типичные для большинства нефтей гопаны состава C₂₇, C₂₉–C₃₃ (рис. 7) с резким преобладанием гопана C₃₀ (17 α , 21 β) являются основными представителями нефтяных пентациклических цикланов в почвах Мамонтовского и Петелинского месторождений. По всей глубине отбора, в пробах почвы обоих месторождений, в составе гопанов преобладает гопан C₃₀ (17 α , 21 β). В фоновых образцах обнаружены гопены C₃₀ с различным положением двойной связи в молекулах и другие мононенасыщенные пентациклические углеводороды, присущие бактериальным и растительным формам^{8–10}.

По суммарному количеству ароматических УВ в образцах Мамонтовского месторождения максимальная концентрация, как и насыщенных веществ, приходится на глубину 10–30 см

(410.3 мкг/г), на долю нафталинов – около 50%, фенантронов – 28%, алкилбензолов – 22% (рис. 8).

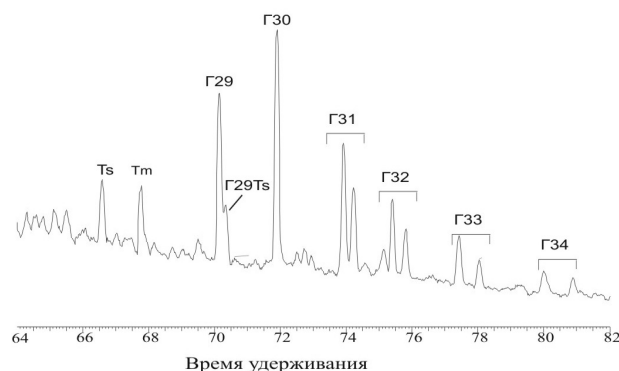


Рис. 7. Распределение гопанов и гопенов в нефтезагрязненной почве Мамонтовского месторождения, отобранной на глубине 10–30 см: Ts – трисноргопан 18 α (H); Tm – трисноргопан 17 α (H); G₂₉ – норгопан; G₂₉Ts – норнеогопан; G₃₀ – гопан; G₃₁, G₃₂, G₃₃, G₃₄ – гомогопаны

В образце с глубины 30–50 см их концентрация снижается (121.36 мкг/г), на долю нафталинов и фенантронов приходится чуть более трети (39 и 37 %, соответственно), алкилбензолы составляют 23%. Образец с поверхности от 0 до 10 см имеет наименьшее содержание ароматических УВ (29.17 мкг/г), более 55% составляют фенантроны, а нафталины и алкилбензолы – чуть более 20%. Это свидетельствует о более интенсивном выветривании и/или биodeградации нафталинов по сравнению с фенантренами и алкилбензолами.

По суммарному количеству ароматических УВ в образцах с Петелинского месторождения выделяется образец, отобранный с поверхностного слоя от 0 до 10 см, в котором их концентрация составляет 64.07 мкг/г. На долю нафталинов приходится 45%, фенантронов – 32%, алкилбензолов – 23%. На глубине 10–30 см отмечается наименьшее содержание ароматических УВ (19.36 мкг/г), практически половину из них составляют фенантроны (47%), нафталины – 33%, а алкилбензолы – 18%. Содержание ароматических УВ на глубине 30–50 см снова увеличивается и составляет 39.38 мкг/г. Соотношение нафталинов, фенантронов и алкилбензолов сохраняется, как и в верхнем слое. На долю нафталинов приходится 43%, фенантронов 37%, алкилбензолов – 20%.

Следует отметить, что доля алкилбензолов, а также пирена и флуорантена в составе ароматических УВ в разрезах нефтезагрязненных почв обеих исследованных площадей остается практически неизменной, а доля фенантронов находится в обратной зависимости от общего содержания ароматических углеводородов.

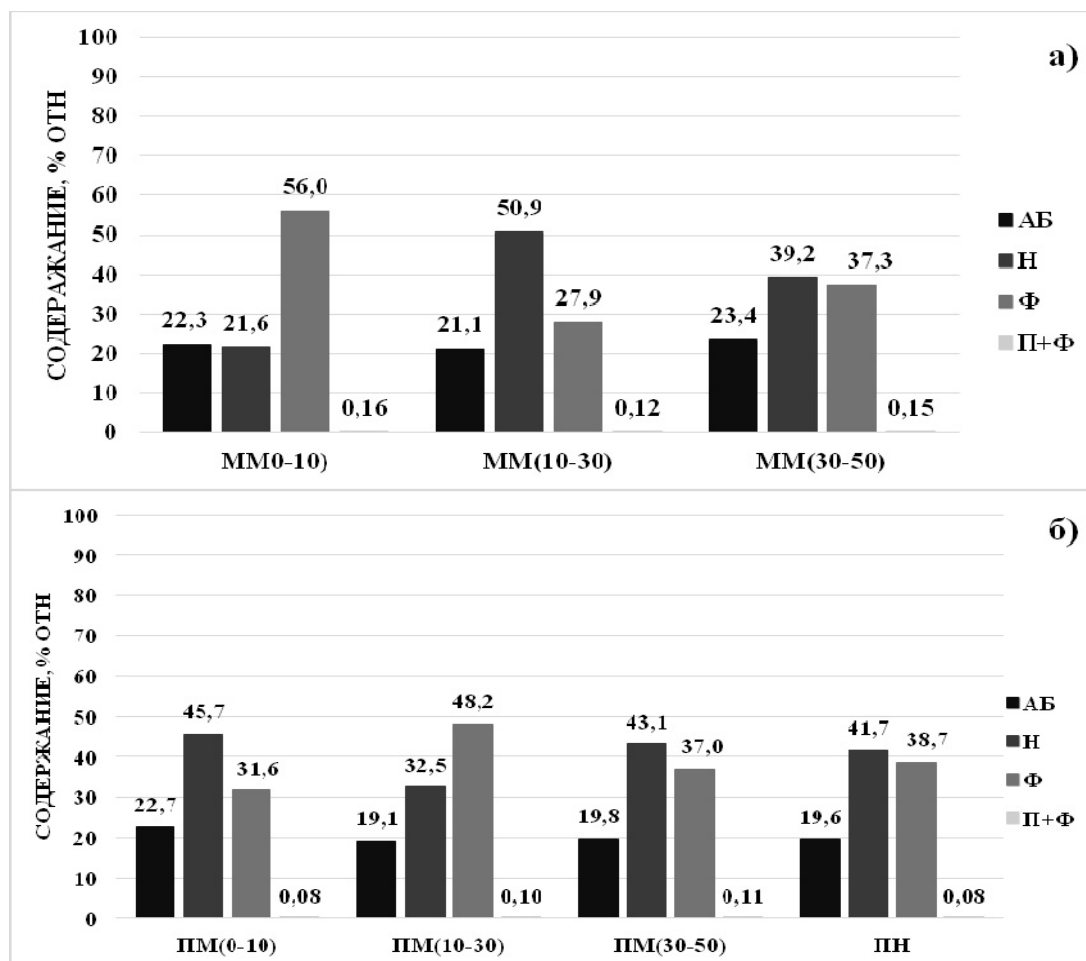


Рис. 8. Относительное содержание групп ароматических УВ в нефтезагрязненных и фоновых почвах Мамонтовского месторождения (а), почвах и нефти Петелинского месторождения (б): АБ – алкилбензолы; Н – нафталины и его гомологи; Φ – фенантроны и его гомологи; П+Φ – пирен и флуорантен

В фоновых образцах почв обоих месторождений ароматические УВ отсутствуют, лишь в следовых количествах обнаружены пирен и флуорантен (табл. 1).

Среди гетероциклических ароматических соединений были идентифицированы дибензотиофены, которые обнаружены только в нефтезагрязненных почвах (табл. 1). По содержанию дибензотиофенов, вновь выделяются проба с глубины 10–30 см на Мамонтовском месторождении и поверхностный слой 0–10 см Петелинского с показателями 99,55 и 10,90 мкг/г, соответственно.

Таким образом, по составу идентифицированных соединений в почвах, загрязненных разливами нефти, и фоновых образцах отмечаются значительные различия. Загрязненные почвы отличаются высоким содержанием характерных для нефти низкомолекулярных *n*-алканов и циклогексанов, дибензотиофенов, алкилбензолов, нафталинов, фенантронов, присутствуют нефтяные насыщенные пентациклические гопаны и бициклические сеск-

витерпаны, в составе стеранов преобладают изомеры холестана.

В фоновых образцах изученных месторождений практически отсутствуют ароматические соединения, нет дибензотиофенов, нефтяных гопанов и сесквитерпанов, в составе *n*-алканов и циклогексанов преобладают высокомолекулярные гомологи.

На Мамонтовском месторождении максимальная концентрация нефтяного загрязнения приходится на почву с глубины 10–30 см, снижается на глубине 30–50 см, а минимальное содержание зафиксировано на поверхности 0–10 см. В отличие от остальных точек разреза, состав нефтяных компонентов в поверхностном слое характеризуется существенно более низкой долей нафталинов, а на участке разреза с максимальным содержанием нефтяных компонентов нафталины преобладают в составе циклических УВ.

В почвах Петелинского месторождения максимальные концентрации нефтяных компонентов с преобладанием нафталинов в составе циклических

УВ приходится на поверхностный слой 0–10 см. С увеличением глубины их содержание снижается. Такие различия в распределении загрязнения по глубине, скорее всего, связаны со временем, прошедшим после разлива нефти.

За шесть лет, прошедших после разлива нефти на Мамонтовском месторождении, часть нефти просочилась и сохранилась в нижележащем слое почвы, а на поверхности за счет выветривания испарились наиболее летучие ее компоненты. На Петелинском

месторождении через год после разлива нефти поверхностных изменений еще не произошло, и концентрация нефтяных компонентов здесь выше, чем на глубине. Концентрация нефтяных компонентов снижается с увеличением глубины за счет их частичной сорбции почвой при просачивании нефти. При этом, снижаясь по обоим разрезам, в составе УВ возрастает доля *n*-алканов, свидетельствуя об их меньшем удерживании почвой.

Литература

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году». — М.: Минприроды России; МГУ имени М.В.Ломоносова, 2022.— 685 с.
2. Доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе Югре в 2017 году // Интернет-ресурс <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-95-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre/1815795/2017-god/> (дата обращения 20.11.2022).
3. Ficken K.J., Li B., Swain D.L., Eglinton G. An *n*-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes // *Organic Geochemistry*.— 2000.— V.31.— Pp.745-749.
4. Pearson E.J., Farrimond P., Juggins S. Lipid geochemistry of lake sediments from semi-arid Spain: relationships with source inputs and environmental factors // *Organic Geochemistry*.— 2007.— V.38.— Pp.1169-1195.
5. Hunt J.M. *Petroleum Geochemistry and Geology*.— San Francisco: Freeman, 1979.— 743 p.
6. Didyk B.M., Simoneit B.R.T., Pezoa L.A., Riveros M.L., Flores A.A. Urban aerosol particles of Santiago, Chile: organic content and molecular characterization // *Atmospheric Environment*.— 2000.— V.34.— Pp.1167-1179.
7. Серебренникова О.В., Гулая Е.В., Стрельникова Е.Б., Прейс Ю.И., Дучко М.А. Распределение *n*-алканов, стероидов и тритерпеноидов в торфе и растениях болота Темное // *Известия Томского политехнического университета*.— 2013.— Т. 323, №1.— С.40-44.
8. Peters K.E., Walters C.C. Moldowan J.M. *The biomarker guide*. V.I, II.— New York: Cambridge University Press, 2005.— 1155 p.
9. Svarovskaya L.I., Serebrennikova O.V., Duchko M.A., Strel'nikova E.B., Russkikh I.V. Changes in the composition of the bituminous components of valley peat under stimulated microbial action // *Solid Fuel Chem.*— 2017.— V.51, №2.— Pp.67-77.
10. Серебренникова О.В., Стрельникова Е.Б., Русских И.В. Особенности состава липидов сфагновых и бриевых мхов из различных природно-климатических зон // *Химия растительного сырья*.— 2019.— №3.— С.225-234.

References

1. *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2021 godu»* [State report «On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2021»]. Moscow, Ministry of Natural Resources of Russia; Moscow State University named after M.V. Lomonosov Publ., 2022, 685 p.
2. <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-95-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre/1815795/2017-god/>.
3. Ficken K.J., Li B., Swain D.L., Eglinton G. [An *n*-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes]. *Organic Geochemistry*, 2000, vol.31, pp.745-749.
4. Pearson E.J., Farrimond P., Juggins S. [Lipid geochemistry of lake sediments from semi-arid Spain: relationships with source inputs and environmental factors]. *Organic Geochemistry*, 2007, vol.38, pp.1169-1195.
5. Hunt J.M. [Petroleum Geochemistry and Geology]. San Francisco, Freeman Publ., 1979, 743 p.
6. Didyk B.M., Simoneit B.R.T., Pezoa L.A., Riveros M.L., Flores A.A. [Urban aerosol particles of Santiago, Chile: organic content and molecular characterization]. *Atmospheric Environment*, 2000, vol.34, pp.1167-1179.
7. Serebrennikova O.V., Gulaya E.V., Strel'nikova E.B., Preys Yu.I., Duchko M.A. *Raspredeleniye n-alkanov, steroidov i triterpenoidov v torfe i rasteniyakh bolota Temnoye* [Distribution of *n*-alkanes, steroids and triterpenoids in peat and plants of the Temnoye bog]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of the Tomsk Polytechnic University], 2013, vol. 323, no.1, pp. 40-44.
8. Peters K.E., Walters C.C. and Moldowan J.M. [The biomarker guide]. New York, Cambridge University Press, 2005, vol.I, II, 1155 p.
9. Svarovskaya L.I., Serebrennikova O.V., Duchko M.A., Strel'nikova E.B., Russkikh I.V. [Changes in the composition of the bituminous components of valley peat under stimulated microbial action]. *Solid Fuel Chem.*, 2017, vol.51, no.2, pp.67-77.
10. Serebrennikova O.V., Strel'nikova E.B., Russkikh I.V. *Osobennosti sostava lipidov sfagnovykh i briyevykh mkhov iz razlichnykh prirodno-klimaticheskikh zon* [Peculiarities of the composition of lipids in sphagnum and brie mosses from various natural and climatic zones]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2019, no.3, pp. 225-234.