

УДК 504.06

Дистанционно-наземный мониторинг нефтезагрязненных земель Нефтеюганского района ХМАО

М.Н. Алексеева[✉], Д.В. Федоров, И.В. Русских, И.Г. Яценко*

*Институт химии нефти СО РАН
634055, г. Томск, пр. Академический, 4*

Поступила в редакцию 22.02.2023 г.;
после доработки 15.04.2023 г.;
принята к печати 17.04.2023 г.

Представлен комплексный подход к мониторингу нефтезагрязненного почвенно-растительного покрова с использованием дистанционных и наземных методов. Обработка космических снимков Sentinel-2 средствами программы Multispec позволила классифицировать нефтезагрязненные земли, разные типы растительного покрова, объекты инфраструктуры. Отражены методические вопросы картографирования по космическим снимкам и верификации полученного результата по фотографиям. Составлена карта, отражающая природно-антропогенную структуру территории Нефтеюганского района ХМАО в условиях нефтегазодобычи, на которой отображены 10 типов растительного покрова, 3 типа антропогенных объектов, нефтезагрязненные земли. Для оценки возобновления древесного и травяного ярусов рассчитан вегетационный индекс NDVI. Значения NDVI на нефтезагрязненных участках на 0,1–0,3 меньше, чем на фоновых. В даты космической съемки, близкие к датам наземных исследований, NDVI = 0,45 (8.08.2020 г.) и 0,42 (23.08.2021 г.) на нефтезагрязненных осоково-сфагновых участках. В мелколиственном и светлохвойном лесу на площадках со свежими нефтепродуктами NDVI = 0,32 (25.09.2020 г.) и 0,42 (23.08.2021 г.). Концентрация нефтепродуктов в загрязненных образцах почвы лежит в пределах 280–580 г/кг с превышением ориентировочно допустимых концентраций в 70–145 раз.

Ключевые слова: нефтепродукты, нефтезагрязненные земли, карта растительного покрова, NDVI, космические снимки, ИК-спектроскопия; oil spills, oil-contaminated lands, vegetation map, NDVI, satellite imagery, IR spectrometry.

Введение

В окружающую среду постоянно поступают органические и минеральные вещества как естественного, так и техногенного происхождения. Нагрузки на природную среду обусловлены физическими (механогенез) и геохимическими воздействиями (атмосферное загрязнение, битуминизация, галогенез), возникающими при авариях на технических объектах и при технологических плановых выбросах. Загрязнение земель нефтегазодобывающих регионов происходит в основном в результате аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. На территории индустриально развитого Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (ХМАО – Югра) добывается 43,7% российской нефти. За 2021 г. на территории ХМАО – Югры добыто 215,761 млн т нефти, в Нефтеюганском районе – 46,7204 млн т нефти. Добыча газа (природного и попутного) составила 33,5 млрд м³, в том числе попутного нефтяного

газа – 32,8 млрд м³. Объем использованного попутного нефтяного газа составил 32,2 млрд м³ (95,8% от его добычи) [1].

В реестр загрязненных нефтью, нефтепродуктами, подтоварной водой земель и водных объектов территории ХМАО – Югры на 1.01.2022 г. [1] внесено 10168 загрязненных участков площадью 20,06 км², из них: 7613 участков площадью 16,59 км², загрязненных нефтью и нефтепродуктами (82,72%); 2436 участков площадью 3,39 км², загрязненных подтоварной водой (16,92%); 119 участков общей площадью 0,07 км², загрязненных газовым конденсатом (0,36%).

Среди нефтегазодобывающих компаний в ХМАО по площади загрязненных земель лидирует ООО «РН-Юганскнефтегаз» (ПАО «НК «Роснефть») – 13,898 км², что составляет 70% от общей площади загрязненных земель ХМАО (без учета 2021 г.) (табл. 1) [1].

ООО «РН-Юганскнефтегаз» ведет разработку 26 нефтяных месторождений (включая Мамонтовское и Петелинское), расположенных в ХМАО. По данным [2], более 80% доказанных запасов «РН-Юганскнефтегаз» сосредоточено на Приобском, Мамонтовском, Малобалыкском и Приразломном месторождениях.

* Мария Николаевна Алексеева (amn@ipc.tsc.ru);
Денис Викторович Федоров (denilletti@gmail.com); Ирина Владимировна Русских (rus@ipc.tsc.ru); Ирина Германовна Яценко (sric@ipc.tsc.ru).

Таблица 1

Рекультивация загрязненных земель ООО «РН-Юганскнефтегаз» в 2021 г.

Предприятие	Осталось нерекультивированных загрязненных земель на 1.01.2021 г., км ²		Образовалось загрязненных земель в 2021 г., км ²		Рекультивировано земель, освиде- тельствованных в 2021 г., км ²	Осталось нерекультивированных загрязненных земель на 1.01.2022 г., км ²		
	нефтью	подтоварными водами	нефтью	подтоварными водами		нефтью	подтоварными водами	газовым конденсатом
ООО «РН-Юганскнефтегаз»	11,76	3,36	0,41*	0,34*	2,09	10,69	3,15	0,05
Всего по ХМАО	20,01	3,59	0,68	0,41	4,91	16,59	3,39	0,07

* Данные по загрязненным в 2021 г. землям ООО «РН-Юганскнефтегаз» уточняются.

После нефтеразлива в несколько этапов происходит процесс деградации нефти на поверхности и в толще почвы. Установлено [3], что на первом этапе (продолжительностью 1–1,5 года) под воздействием ультрафиолета происходит разложение легких токсичных фракций. На втором этапе продолжительностью пять лет в составе нефтяных экстрактов из загрязненных почв возрастает доля смолисто-асфальтеновых компонентов. Окисление нефти, требующее не менее 25 лет, считается законченным, если в почве не обнаружены нефтяные углеводороды. По хронологическому принципу загрязненные участки делятся на очень свежие — до одного года с момента аварии, свежие — один–три года и старые — более трех лет [3].

При нефтезагрязнении земель происходит обволакивание нефтью почвенных частиц, способствующее увеличению гидрофобности почвы и вытеснению воздуха из почвенных пор [4]. Реакция растений на нефтяное загрязнение почвы неоднозначна и зависит как от характера и концентрации загрязняющего агента, так и от таксономической принадлежности растения. Например, в [5] выявлено, что дизельное топливо в почве в концентрациях 1–2% оказывает стимулирующее влияние на растения, наблюдается увеличение высоты стебля у злаковых растений на 8,0–16,9% [5]. В то же время в [4] показано, что при концентрации нефти в почве 5–10 л/м² наблюдается негативное влияние на под-рост сосны.

В связи с существующей проблемой деградации земель в результате аварий с разливами нефтепродуктов целью работы является оценка состояния почвенно-растительного покрова в пределах территорий Мамонтовского и Петелинского месторождений ХМАО, на которых произошли аварии в разные годы.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются территории Мамонтовского и Петелинского месторождений ХМАО, которые находятся в центральной части Западно-Сибирской равнины, в Обско-Иртышской равнинной таежно-болотной ландшафтной области Салымско-Обской плоской террасовой болотно-

таежной ландшафтной провинции (рис. 1) [6]. Леса на территории месторождений характеризуются как сырые с множеством мочажин и подболоченных участков [7].

На увлажненных участках произрастают деревья преимущественно лиственных пород — осина и береза, а на наиболее сухих — хвойные деревья (ель, кедр, пихта и сосна). Встречаются участки только хвойного или лиственного леса. Подлесок представлен теми же древесными породами с добавлением рябины и кустарников; напочвенный покров — травянисто-моховой. По краям коренных террас, на возвышенностях и в поймах некоторых рек произрастает смешанный урманый лес. На болотистой равнине бассейна р. Большой Балык выделяются сосновые леса на гривах и с примесью кедра на более низких участках. Напочвенный покров представлен лишайниками (ягелем) и зелеными мхами. Сухие участки в долинах рек поросли сосново-березовым и сосново-кедровым смешанным лесом. На верховых сфагновых болотах первый ярус представлен угнетенной сосной, второй — карликовой березой, багульников и голубикой. На пойменных участках встречаются заливные луга, травянистые болота.

Мамонтовский лицензионный участок находится в Нефтеюганском районе ХМАО — Югры к югу от г. Нефтеюганска. Общая площадь месторождения составляет около 1000 км². Запасы нефти в залежах на глубине 1,0–2,5 км — 1,4 млрд т. Нефть Мамонтовского месторождения характеризуется следующими свойствами: удельный вес (плотность) — 0,871–0,885 г/см³, содержание серы — 1,2–1,5%, парафина — 2,9–3,8%, смол — 7,6–9,1%, асфальтенов — 2,2–3,1%, нефтяного газа — 41,5–60,5 м³/т [8].

Петелинское нефтегазовое месторождение площадью 74,23 км расположено на территории Сургутского района ХМАО в 100 км к юго-западу от г. Нефтеюганска. Запасы нефти — 10,1 млн т. Нефть Петелинского месторождения характеризуется следующими свойствами: удельный вес (плотность) — 0,8716 г/см³, содержание серы — 1,03%, парафина — 3,46%, смол — 6,7%, асфальтенов — 2,95%, содержание нефтяного газа — 43,14 м³/т [9].

До 2019 г. на Мамонтовском месторождении были зафиксированы нефтеразливы [10, 11]. В 2000 г.

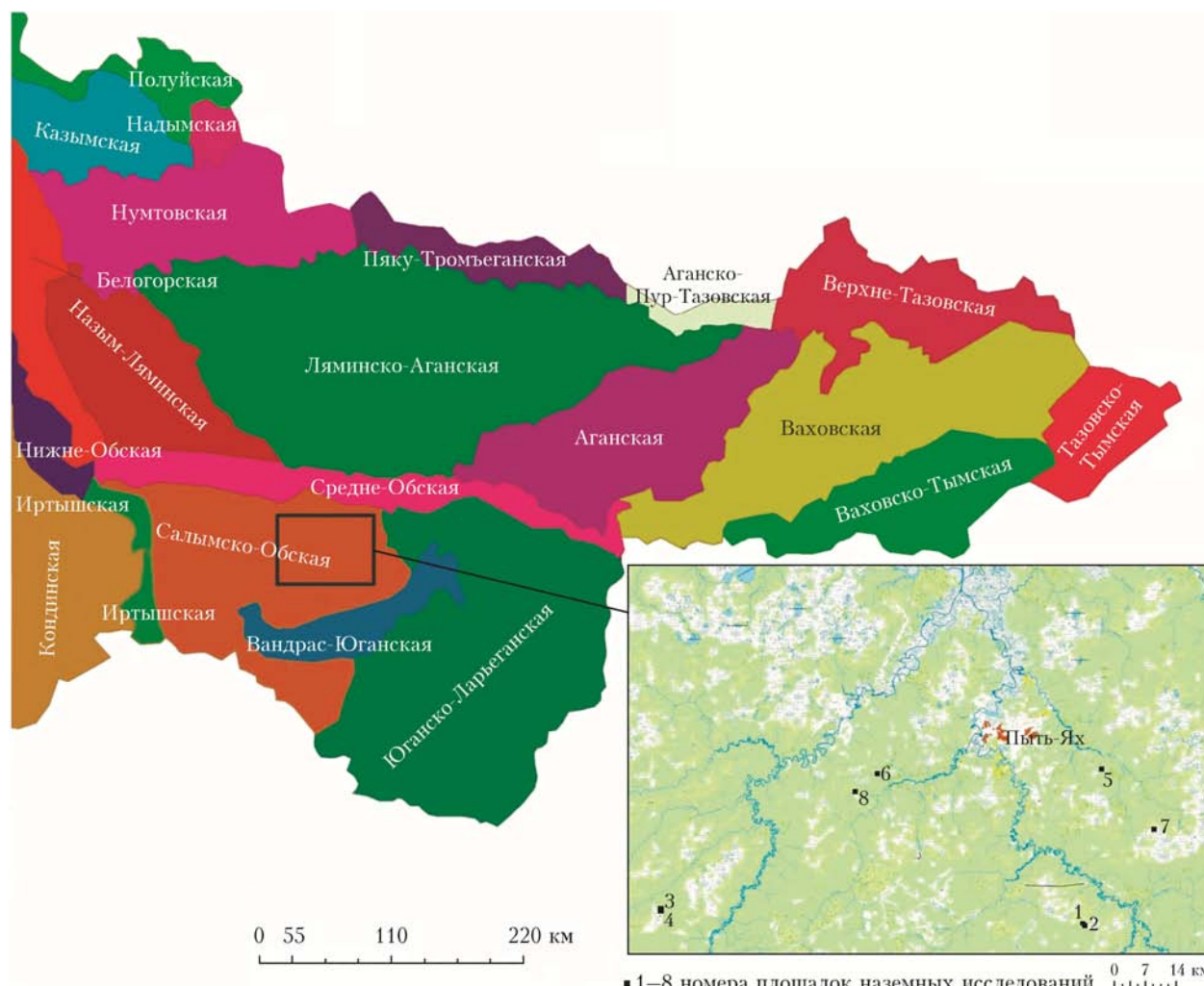


Рис. 1. Карта ландшафтного районирования ХМАО и исследуемого участка (см. цветной рисунок на сайте <http://iao.ru/ru/content/vol.36-2023/iss.06>)

на производственной территории этого месторождения проводились обследования нефтезагрязненных земель. Всего было зарегистрировано 254 нефтезагрязненных участка общей площадью 2,8 км² [10]. На Петелинском месторождении был обнаружен разлив нефти в 2017 г. [12].

В работе для выявления и характеристики почв и растительного покрова на нефтезагрязненных участках применялись наземные и дистанционные методы.

1. Двухступенчатая классификация земельного покрова по космическому снимку (КС) Sentinel-2 программой MultiSpec.

2. Идентификация классов земельного покрова в соответствии с полевыми описаниями и картами растительности [13, 14].

3. Расчет вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) в каждом пикселе территории месторождений в системе ERDAS Imagine.

4. Лабораторное определение содержания углеводов в фоновых и загрязненных образцах почвы.

В табл. 2 приведен перечень используемых в работе КС, даты съемки которых близки к датам отбора проб. Пространственное разрешение КС Sentinel-2 и Landsat-8 составляет 10 и 30 м в надири.

Таблица 2

КС, используемые в работе, и метеорологические характеристики с метеостанции Нефтеюганск

Спутник	Дата съемки	T , °C	U , %
Sentinel-2	13.05.2020 г.	26,4	45
Sentinel-2	05.06.2020 г.	16,5	46
Sentinel-2	16.07.2020 г.	23	65
Landsat-8	08.08.2020 г.	26,5	43
Sentinel-2	25.09.2020 г.	9,6	66
Sentinel-2	22.05.2021 г.	28,5	25
Sentinel-2	14.06.2021 г.	27,5	28
Sentinel-2	09.07.2021 г.	25,8	45
Sentinel-2	23.08.2021 г.	29,3	51
Sentinel-2	27.09.2021 г.	7,2	58
Sentinel-2	30.10.2021 г.	-7,9	71

Примечание. T — температура воздуха на высоте 2 м над поверхностью Земли, °C; U — относительная влажность на высоте 2 м над поверхностью Земли, %.

В соответствии с рекомендациями, приведенными в [13], для составления карты растительности была использована программная система MultiSpec. С ее помощью было проведена разбивка КС на 21 кластер с относительно идентифицированной растительностью на основе итеративного (Isodata) алгоритма кластеризации. Далее была выполнена многомерная классификация с помощью алгоритма ЕСНО на основе выделенных кластеров. Более точная идентификация кластеров проводилась в соответствии с наземными описаниями и картами растительного покрова [13, 14].

Для оценки состояния растительного покрова на нефтезагрязненных и фоновых участках был рассчитан вегетационный индекс NDVI. Расчет NDVI основан на разнице отражения в ближней инфракрасной (ИК) области электромагнитного спектра (NIR) и в красной части спектра (Red). Для Landsat-8 на красную область спектра с длинами волн 0,630–0,680 мкм приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю ИК-зону 0,845–0,885 мкм – максимальное отражение энергии клеточной структурой листа. Следовательно, для КС Sentinel-2 длина волны Red составляет 0,665 мкм, длина волны NIR – 0,842 мкм [15]. NDVI является показателем фотосинтетически активной фитомассы. Индекс вычисляется по формуле

$$NDVI = (P_{nir} - P_{red}) / (P_{nir} + P_{red}),$$

где P_{nir} , P_{red} – отражение в ближней ИК- и красной областях спектра. Значения NDVI в нарушенных торфяных болотах изменяются от 0,2 до 0,45; значения NDVI от 0,4 до 0,6 характеризуют растительность как промежуточную между густой и разреженной; выше 0,6 говорят о густом растительном покрове [16].

Экспедиционные работы по отбору проб фоновых и загрязненных почв на территории ХМАО проводили в 2020 и 2021 гг. Особое внимание было уделено антропогенно нарушенным вследствие аварийных разливов нефти территориям. С этой целью были обследованы нефтезагрязненные участки вблизи линий трубопроводов, производственных объектов месторождений. В табл. 3 приведены номера площадок с наземными исследованиями (номера соответствуют обозначениям на рис. 1). Участки № 1, 2, 5, 7 – Мамонтовское месторождение, № 3, 4 – вблизи Петелинского месторождения, № 6, 8 – удаленные фоновые участки. Площадки № 1, 7 – со старыми нефтеразливами, которые произошли в 2014 и 2015 гг., площадки № 3, 5 – со свежими нефтеразливами (2018, 2019 гг.). Наземные исследования приведенных в табл. 3 участков № 1–4 проводили в 2020 г., а участков № 5–8 – в 2021 г.

На площадках № 1, 3, 5, 7 пропитанную нефтью землю отбирали шнековым буром НШУ-200/ЗЕМ на глубине 10 см. Визуально почвенные горизонты были однородно пропитаны нефтью с соотношением концентраций 1:1. На фоновых площадках образцы почв отбирались на указанных в табл. 3 расстояниях от нефтезагрязненных участков. Отобранные образцы почвы и торфа анализировали методом ИК-спектроскопии, который заключается в экстракции нефтепродуктов из почв четыреххлористым углеродом, хроматографическом отделении нефтепродуктов от сопутствующих органических соединений других классов и количественном определении нефтепродуктов по интенсивности поглощения в диапазоне ИК-области спектра 4000...400 см⁻¹ на ИК-Фурье-спектрометре Nicolet 5700 (разрешение – 4 см⁻¹, число сканов пробы – 64) [17].

Таблица 3

Характеристика отобранных проб почвы

Номер площадки	Месторождение	Нефтезагрязнение/фон	Дата аварии	Дата отбора проб	Тип почв	Биотоп
1	Мамонтовское	Нефтезагрязнение	Июль 2014 г.	26.08.2020 г.	О	Болото
2	Мамонтовское	Фон (расстояние 200 м от № 1)	–	26.08.2020 г.	О	Болото
3	Петелинское	Нефтезагрязнение (расстояние 200 м от № 4)	Ноябрь 2019 г.	10.09.2020 г.	ОМ	Лес
4	Петелинское	Фон	–	10.09.2020 г.	ОМ	Лес
5	Мамонтовское	Нефтезагрязнение (на расстоянии 25,73 км от № 6)	2018 г.	14.08.2021 г.	ОМ	Лес
6	–	Фон	–	28.09.2021 г.	ОМ	Лес
7	Мамонтовское	Нефтезагрязнение (на расстоянии 34,55 км от № 8)	2015 г.	20.08.2021 г.	О	Болото
8	–	Фон	–	28.09.2021 г.	О	Болото

Примечание. О – органогенный тип почв; ОМ – органоминеральный тип почв.

Результаты и обсуждения

В результате обработки КС Sentinel-2 выделен 21 кластер объектов, которые далее были сгруппированы в 16 классов природных и антропогенных объектов, представленных на рис. 2. Из них к природным относятся (рис. 2): темнохвойный лес; смешанный лес; светлохвойный лес; сосново-

кустарничково-сфагновое болото; мелколиственный лес; травяные фитоценозы с мелколиственным подростом; грядово-мочажинно-озерковые комплексы; грядово-мочажинные комплексы; мохово-травяные болота; открытые участки и участки с редкой травянистой растительностью. К антропогенным относятся: три класса с разной застройкой в населенных пунктах, на рис. 2 объединенные в один класс

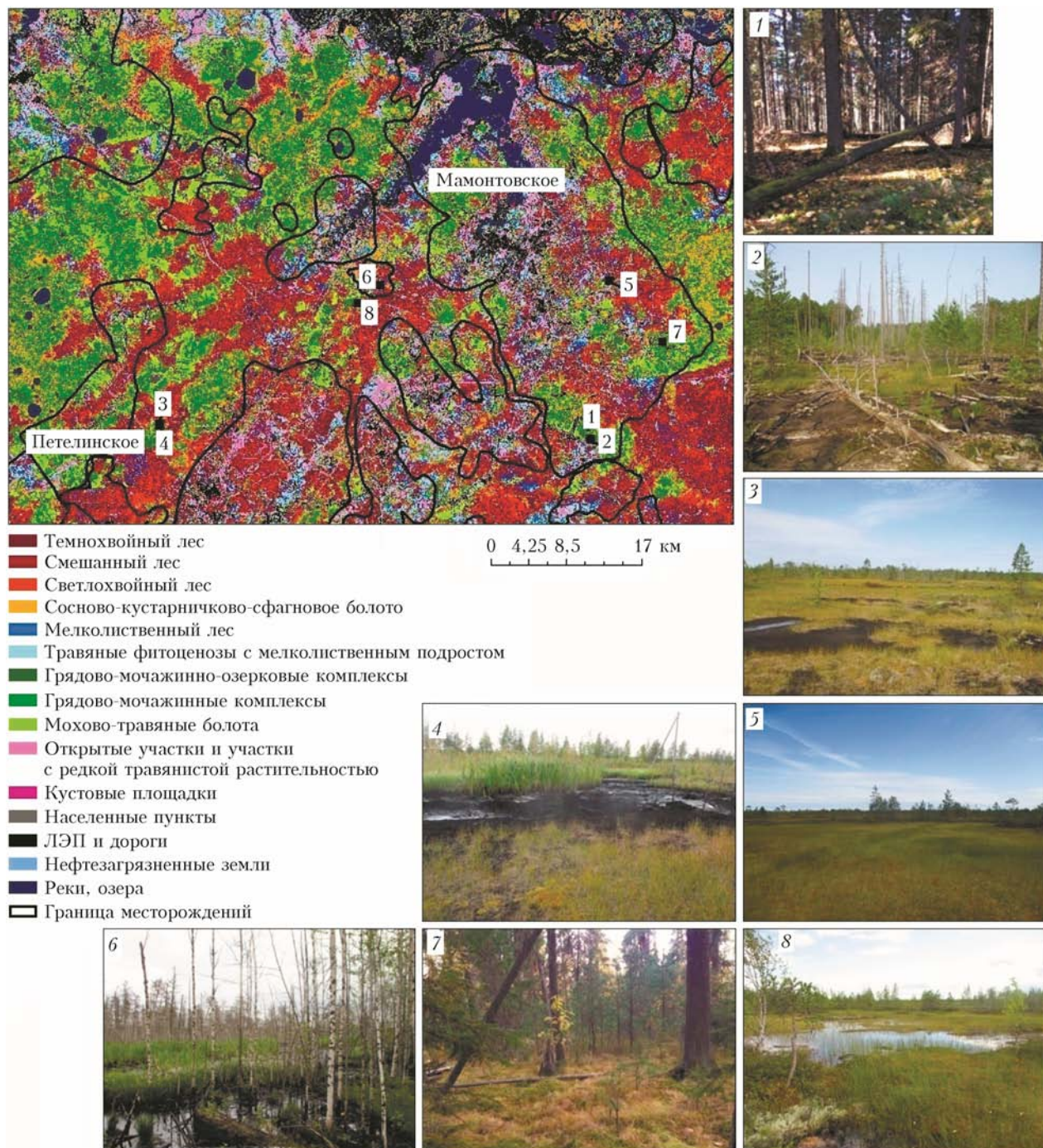


Рис. 2. Карта растительного покрова и антропогенных объектов. Обозначения фоновых (№ 2, 4, 6, 8) и нефтезагрязненных (№ 1, 3, 5, 7) участков: 1 – нефтезагрязненное сфагново-осоковое болото с тростником; 2 – сфагново-осоковое болото; 3 – нефтезагрязненный мелколиственный лес; 4 – сосново-еловый лес; 5 – нефтеразлив в сосново-еловом лесу; 6 – еловый лес; 7 – болото мелко-кочковатое сфагново-осоковое; 8 – грядово-мочажинный комплекс (см. цветной рисунок на сайте <http://iao.ru/ru/content/vol.36-2023/iss.07>)

«населенные пункты»; один класс — линии электропередачи (ЛЭП) и три класса — автодороги с различным покрытием, объединенные в класс «ЛЭП и дороги»; один класс — кустовые площадки. Также выделены два класса водных объектов — реки и озера, объединенные на рис. 2 в один, и класс «нефтезагрязненные земли».

Установлено, что болотами занято 39,3% картированной территории (рис. 2). Лесистость территории составляет 37,7%. Из болот распространены грядово-мочажинно-озерковые комплексы (10,6%), грядово-мочажинные комплексы (11,1%), сосново-кустарничково-сфагновые болота (9,3%), мохово-травяные (преимущественно сфагново-осоковые) типы болот (8,4%). Леса смешанных пород занимают 10,7%, сосновый лес — 11,5%, мелколиственный лес — 8,3%, темной еловой елово-кедровый кустарничково-зеленомошный лес на повышениях и долгомошный и сфагновый лес в понижениях рельефа — 7,2% от общей площади картированного участка. Травянистая растительность на месте выруб, вдоль дорог и ЛЭП занимает 10,4%. Нефтепромышленные объекты, дороги и населенные пункты занимают 6,3% и водные объекты — 4,7% от общей площади картированного участка.

На Мамонтовском и Петелинском месторождениях в итоге экспертного автоматико-ручного дешифрирования на карте (рис. 2) составлен цифровой слой нефтезагрязненных земель общей площадью 1,94 км², что сопоставимо с выявленными в 2001 г. нефтезагрязненными землями [10].

На восьми площадках отбора проб фоновых и нефтезагрязненных почв (рис. 2) рассчитан индекс NDVI (рис. 3), который на фоновых участках изменяется от 0,5 до 0,64, что не противоречит данным, приведенным в работе [17]. Например, значения NDVI в Томской области в ненарушенном грядово-мочажинном комплексе (съемки 21.08 и 22.09.2019 г.) по данным продукта MYD13Q1 составили 0,64 и 0,57 [16].

В результате проведенного исследования установлено, что в 2020 г. на нефтезагрязненных участках № 1 и 3 индекс NDVI был меньше на 0,1–0,3, чем на фоновых участках № 2 и 4. В 2021 г. на нефтезагрязненных участках № 5 и 7 NDVI был на 0,1–0,3 меньше, чем на фоновых участках № 6 и 8.

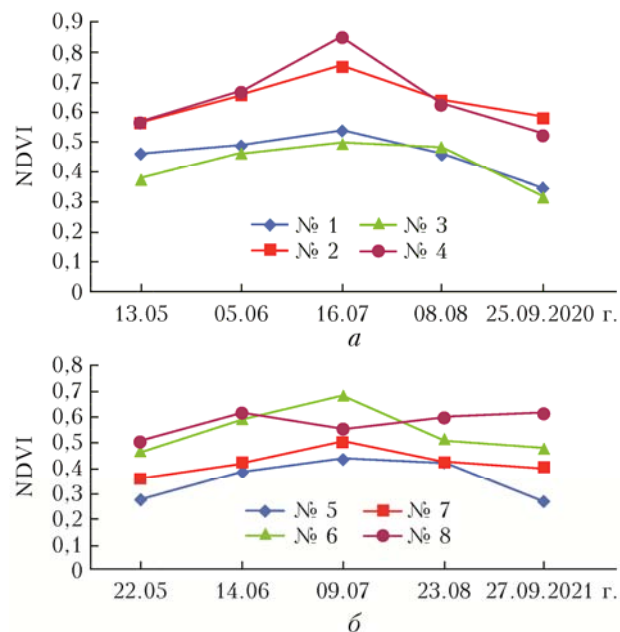


Рис. 3. Значение индекса NDVI в фоновых и нефтезагрязненных почвах: а — 2020 г.; б — 2021 г. Обозначения площадок см. на рис. 2

По результатам наземных исследований установлено, что содержание углеводородов на фоновых участках № 2, 4, 6, 8 не превышает ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) нефти и нефтепродуктов в почвах средне- и южно-таежных подзолистых и дерново-подзолистых (ОДК = 4 г/кг [18]). Ориентировочным допустимым уровнем содержания нефти и нефтепродуктов в почвах предлагается считать нижний допустимый уровень загрязнения, при котором в данных природных условиях почва в течение одного года восстанавливает свою продуктивность, а негативные последствия для почвенного биоценоза могут быть самопроизвольно ликвидированы. Концентрация углеводородов варьируется от 0,33 до 1,49 г/кг (табл. 4). Содержание нефтепродуктов в почвах на участках, загрязненных нефтью, существенно выше фоновых показателей. На участках № 1, 3, 5, 7 концентрация в 70–145 раз больше значения ОДК, что соответствует очень высокой степени загрязнения территории [18].

Таблица 4

Состояние почв и растительности нефтезагрязненных участков

Номер образца	Нефте-разлив	Содержание углеводородов в образце почвы, г/кг	Степень загрязнения [14]	Растительность	NDVI
1	Старый	539,67 ± 53,97	Очень высокая	Сфагново-осоковое с тростником болото	0,45
2	—	1,49 ± 0,15	—	Сфагново-осоковое болото	0,64
3	Свежий	279,23 ± 27,92	Очень высокая	Мелколиственный лес	0,32
4	—	1,37 ± 0,14	—	Сосново-еловый лес	0,53
5	Свежий	579,76 ± 57,98	Очень высокая	Сосново-еловый лес	0,42
6	—	0,33 ± 0,03	—	Еловый лес	0,5
7	Старый	534,79 ± 53,48	Очень высокая	Мелко-кочковатое сфагново-осоковое болото	0,42
8	—	1,13 ± 0,11	—	Грядово-мочажинный комплекс	0,61

На торфяных мелко-кочковатых сфагново-осоковых болотах (№ 1 и 7) в 2020 и 2021 гг. сохраняется высокий уровень нефтезагрязнения: 539,67 г/кг (№ 1) и 534,79 г/кг (№ 7) соответственно. В даты космической съемки, близкие к датам наземных исследований, значения NDVI на данных участках составляют 0,45 (8.08.2020 г.) и 0,42 (23.08.2021 г.) соответственно (табл. 4), что свидетельствует о нарушенном состоянии торфяно-растительного покрова. В мелколиственном и светлохвойном лесу на площадках со свежими нефтеразливами NDVI = 0,32 (25.09.2020 г.) и 0,42 (23.08.2021 г.), что меньше фоновых значений в ненарушенных лесах на 0,1–0,2 ед. В лесу участки № 3 и 5, нефтезагрязненные в 2019 и 2018 гг., отличаются концентрациями нефтяных углеводородов в почвах: участок № 3 – $279,23 \pm 27,92$ г/кг; участок № 5 – $579,76 \pm 57,98$ г/кг (табл. 4).

Заключение

В настоящей работе представлен комплексный подход, объединяющий дистанционные и наземные методы мониторинга почвенно-растительного покрова, к оценке состояния нефтезагрязненных почв. Обработка космических снимков Sentinel-2 средствами программы Multispec позволила классифицировать нефтезагрязненные земли, разные типы растительного покрова, объекты инфраструктуры. Отражены методические вопросы картографирования по космоснимкам и верификации полученного результата по фотографиям. Составлена карта, отражающая природно-антропогенную структуру территории Нефтеюганского района ХМАО в условиях нефтегазодобычи, на которой отображены 10 типов растительного покрова и 3 типа антропогенных объектов, нефтезагрязненные земли. Выявлена площадь нефтезагрязненных земель на Петелинском и Мамонтовском месторождениях (1,94 км²). Значения NDVI на нефтезагрязненных участках на 0,1–0,3 меньше, чем на фоновых.

На всех установленных нефтезагрязненных участках наблюдается очень высокая степень загрязнения с концентрацией нефтепродуктов в 70–145 раз больше ориентировочно допустимой. Полученные в статье результаты исследований позволяют проводить мониторинг и оценку состояния северных территорий в зоне воздействия нефтегазодобывающего комплекса.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания ИХН СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (НИОКТР 121031500046-7).

Список литературы

1. Доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2021 году. URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/>

- gosudarstvennyy-doklad-o-sostoyanii-i-ob-okhranekokruzhayushchey-sredy-rossiyskoy-federatsii/8263899/2021-god-/ (дата обращения: 10.02.2023).
2. PH-Юганскнефтегаз. URL: <https://market.neftegaz.ru/catalog/company/358120-yuganskneftegaz/> (дата обращения: 10.02.2023).
3. Соромотин А.В. Воздействие добычи нефти на таежные экосистемы Западной Сибири: Тюмень: Изд-во Тюмен. гос. ун-та, 2010. 320 с.
4. Назаров А.В. Влияние нефтяного загрязнения почвы на растения // Вестн. Пермского гос. ун-та. Биология. 2007. Вып. 5. № 10. С. 134–141.
5. Исаева А.У., Ешибаев А.А., Саданов А.К., Акынова Л.А. Влияние различных фракций нефти на морфометрические параметры растений // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 2. С. 51–54.
6. Козин В.В., Москвина Н.Н. Дробное ландшафтное районирование Ханты-Мансийского автономного округа // Проблемы географии и экологии Западной Сибири. Тюмень: Изд-во Тюмен. гос. ун-та, 1998. Вып. 3. С. 3–39.
7. Визгалов Г.П. Раздел мероприятий по обеспечению сохранности объектов археологического наследия на территории лицензионных участков в ХМАО. URL: https://nasledie.admhmao.ru/upload/iblock/728/Kn_1_Tekst.pdf (дата обращения: 20.02.2023).
8. Анализ состояния разработки Мамонтовского месторождения. URL: <https://scienceforum.ru/2020/article/2018021522> (дата обращения: 00.00.2023).
9. Яценко И.Г., Полищук Ю.М. Трудноизвлекаемые нефти: физико-химические свойства и закономерности размещения / под ред. А.А. Новикова. Томск: В-Спектр, 2014. 154 с.
10. Казанцева М.Н., Казанцев А.П., Гашиев С.Н. Характеристика нефтяного загрязнения территории Мамонтовского месторождения нефти // Вестн. экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2001. № 2. С. 86–90.
11. Экологи нагрянули на Мамонтовское месторождение нефти в Югре. URL: <https://novostienergetiki.ru/ekologi-nagryanuli-na-mamontovskoe-mestorozhdenie-nefti-v-yugre/> (дата обращения: 21.01.2023).
12. Экологическая катастрофа в Югре! На Петелинском месторождении Роснефти разлила нефть. URL: <http://www.ugrapro.ru/2017/08/22/ekologicheskaya-katastrofa-v-yugre-na-petelinskom-mestorozhdenii-rosnefti-razlita-neft-foto/> (дата обращения: 9.04.2023).
13. Кузьменко Е.И. Эколого-географические подходы комплексного изучения и картографирования геосистем таежных регионов Сибири: дис. ... д-ра геогр. наук: 25.00.23. Иркутск, 2018. 352 с.
14. Терентьева И.Е., Филиппов И.В., Сабреков А.Ф., Глаголев М.В., Курбатова Ю.А., Максюттов Ш. Картографирование таежных болот Западной Сибири на основе дистанционной информации // Изв. РАН. Сер. геогр. 2020. Т. 84, № 6. С. 920–930.
15. Custom-scripts. URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ndvi/> (дата обращения: 20.02.2023).
16. Алексеева М.Н., Русских И.В., Яценко И.Г., Кадычагов П.Б. Наземно-дистанционные исследования постпирогенных ландшафтов Томской области // Оптика атмосф. и океана. 2022. Т. 34, № 7. С. 539–548.
17. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии. М., 1998. 21 с.

18. Другов Ю.С., Родин А.А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов: Практическое руководство. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 270 с.

ководство. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 270 с.

M.N. Alekseeva, D.V. Fedorov, I.V. Russkikh, I.G. Yashchenko. Remote-ground monitoring of oil-contaminated lands of the Nefteyugansk region of Khanty-Mansi Autonomous Okrug.

An approach which combines remote and ground-based methods for monitoring oil-contaminated soil and vegetation cover is suggested. A map is presented that reflects the natural and anthropogenic structure of the territory of the Nefteyugansk region of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug in the conditions of oil and gas production. The legend of the map shows 10 natural and 3 anthropogenic types of vegetation cover and the open surface of the Earth in the area located in the Salym-Ob flat terraced swamp-taiga landscape province. It was revealed that after oil spills, the soil and vegetation cover experiences a long-term negative impact. The NDVI values in the oil-contaminated areas are 0.1–0.3 lower than in the background ones. In satellite imagery in days close to those of ground-based surveys, the NDVI of oil-contaminated areas of sedge-sphagnum bogs is 0.45 (8.08.2020) and 0.42 (23.08.2021), respectively. In small-leaved and light-coniferous forests on sites with a negative impact of fresh oil spills, NDVI = 0.32 (25.09.2020) and 0.42 (23.08.2021), respectively. The concentration of oil products in contaminated soil samples lies in the range 280–580 g/kg, exceeding the approximately permissible concentrations by 70–145 times.