

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 504.056:528.85:528.87

ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОЙ НАРУШЕННОСТИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СРЕДНЕГО ПРИОБЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

© 2020 г. Д. В. Московченко^{1,2,*}, А. Г. Бабушкин^{1,**}, И. Р. Идрисов^{2,***}

¹Тюменский научный центр СО РАН, ул. Малыгина, 86, Тюмень, 625026 Россия

²Тюменский государственный университет, ул. Володарского, 6, Тюмень, 625003 Россия

*E-mail: moskovchenko1965@gmail.com

**E-mail: ab@gisi.ru

***E-mail: ildaridrisov@yandex.ru

Поступила в редакцию 21.05.2020 г.

После доработки 7.06.2020 г.

Принята к публикации 8.06.2020 г.

По данным дистанционного зондирования Земли (Landsat-8 OLI, Sentinel-2) и последующих наземных исследований определена площадь нарушенных геосистем на 25 лицензионных участках нефтедобычи в Среднем Приобье. В зависимости от запасов нефти, длительности разработки и развития транспортной сети техногенными объектами повреждено от 1.05 до 10.5% площади участков (в среднем 3.1%). Площадь техногенных нарушений в Среднем Приобье выше, чем на нефтяных месторождениях Урало-Заволжья. Линейные объекты (дороги, трубопроводы и ЛЭП) повреждают в 5.9 раз больше территории, чем площадные (кусты добывающих скважин, карьеры, площадки разведочного бурения, дожимные насосные станции и др.). Существует достоверная корреляционная зависимость между продолжительностью эксплуатации месторождения и площадью нарушенных геосистем. На 8 участках площадь непромышленных нарушений, вызванных вырубками и лесными пожарами, больше площади нарушений, вызванных формированием нефтедобывающей инфраструктуры. Производные леса, имеющие преимущественно пирогенное происхождение, занимают 23% лесопокрытой площади, что говорит о постоянном влиянии пожаров на структуру и состав растительности.

Ключевые слова: нефтедобыча, Среднее Приобье, дистанционные методы, техногенная нарушенность, линейные нарушения, гари

DOI: 10.31857/S0869780920050069

ВВЕДЕНИЕ

Разработка нефтяных месторождений в Ханты-Мансийском автономном округе (ХМАО) привела к возникновению серьезных экологических проблем, одна из которых — деградация земель. Наиболее масштабные прямые последствия освоения месторождений углеводородов — механические повреждения почвенно-растительного покрова [11]. Постепенное истощение запасов приводит к падению добычи, что требует проведения разведочных работ и ввода в эксплуатацию все новых месторождений, расположенных в удаленных районах. Поэтому уровень нарушений неуклонно увеличивается. В этих условиях крайне остро стоит задача формирования сбалансированного природопользования, решение которой невозможно без учета нарушенности геосистем и прогнозирования их изменения под влиянием антропогенных факторов. Одним из эффектив-

ных способов определения уровня техногенной нарушенности является применение современных аэрокосмических методов и геоинформационных технологий. Данные дистанционного зондирования (ДДЗ) широко используются для оценки нарушений при добыче углеводородного сырья как в России, так и за рубежом [2–6, 8–11, 20, 21]. Обработка и анализ ДДЗ позволяют, прежде всего, оценить изменение растительного покрова в результате отвода земель под объекты инфраструктуры. Нарушение растительности проявляется как через ее прямое сведение, так и в результате изменения экологических условий на прилегающих к техногенным объектам участках. На нефтяных месторождениях наблюдается изменение состава и структуры сообществ (проективно-го покрытия, продуктивности, ярусности, видо-вого разнообразия, числа жизненных форм), что

хорошо регистрируется на многозональных спутниковых снимках [8].

Однако до настоящего времени уровень нарушения геосистем ХМАО определен только на единичных месторождениях [3]. Связано это, прежде всего, со значительными техническими сложностями при выделении и последующей векторизации нарушенных территорий. Для участков с обнаженным субстратом, имеющим естественное происхождение (например, песчаные наносы в пойме, эоловые раздувы) использование автоматизации оцифровки приводит к значительным ошибкам, так как значительная часть подобных объектов может быть отнесена к классам нарушенных территорий [8]. Вместе с тем промышленные объекты с восстанавливающимся растительным покровом (например, площадки разведочного бурения) часто “теряются” на фоне природных ландшафтов. Сказываются также и незначительные линейные размеры нарушенных участков. Площадки разведочного бурения, кусты эксплуатационных скважин часто занимают площадь менее 1 га. Поэтому их дешифрирование на снимках среднего пространственного разрешения (30 м) не является абсолютно достоверным [9]. Только приближенные оценки уровня нарушения дает использование снимков радиометра AVHRR спутника NOAA с разрешением около 1 км, использованные при оценке техногенных нарушений на Тазовском полуострове [6].

В нашей работе предпринята попытка количественной оценки площади нарушенных земель в Среднем Приобье — основном нефтедобывающем регионе России, обеспечивающим около 6% мировой нефтедобычи. Для этого было выбрано 25 лицензионных участков, расположенных на территории Нижневартовского, Сургутского и Нефтеюганского районов ХМАО (рис. 1). Участки расположены в различных ландшафтных условиях, различаются как по длительности разработки, так и по интенсивности техногенного воздействия и достаточно репрезентативны для объективного определения уровня антропогенного воздействия.

Цель исследования — определение площади механических нарушений геосистем таежной зоны Западной Сибири под воздействием нефтедобычи. Задачи — определение алгоритмов обработки снимков и выбор методики дешифрирования, выделение участков техногенных нарушений и составление картографо-информационной базы, геоэкологический анализ структуры ландшафтов и форм техногенных нарушений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При выборе объектов исследования использовали карты лицензионных участков распределенного фонда недр, находящиеся в свободном до-

ступе на геопортале ЮГРА (<https://maps.crru.ru>). Были выбраны участки, для которых имелась информация недропользователей о размещении основных техногенных объектов, что в дальнейшем позволило точно идентифицировать формы нарушений.

Для решения поставленных задач использовались снимки спутников Landsat 8 (сенсор OLI) и Sentinel-2, сделанные в летний период 2016 г. (usgs.gov). Снимки, представленные в проекции WGS 84 / UTM зон 43N и 44N, прошли предварительную обработку уровня 1C и имели минимальное покрытие облаками (<4%). Всего было использовано 4 снимка с близкими датами съемки. Дешифрирование снимков и выделение пространственных объектов, характеризующих ландшафтную структуру и уровень техногенной нарушения, проводилось с применением программного пакета ENVI версии 5.2.

На первом этапе было проведено определение геосистем, спектральные характеристики которых имеют хорошую различимость на космоснимках и могут быть с достаточно высокой точностью выделены в ходе их обработки. Поскольку обследованные месторождения расположены в разных физико-географических областях (Аганской, Вахской, Обь-Иртышской, Тобольской) [16], их ландшафтная структура весьма разнообразна. Однако по спектральным характеристикам можно выделить несколько морфогенетических форм земной поверхности с различными спектральными свойствами. Квазикоренные таежные леса с господством хвойных пород (ели, кедр, сосны) отчетливо различаются от производных лесов с преобладанием лиственных пород (березы, осины).

По спектральным характеристикам выделяют две стадии восстановительной динамики лесной растительности — короткопроизводные березовые леса без участия хвойных пород в составе древостоя и длительнопроизводные леса смешанного состава с приблизительно равным соотношением хвойных и мелколиственных пород. Достаточно четко дешифрируются на снимках болота и пойменные участки. Вырубки отчетливо выделяются на фоне неповрежденных лесов, однако зачастую их спектральные характеристики совпадают с иными классами земной поверхности — болотами, короткопроизводными лесами.

Наиболее хорошо различимые геосистемы — водные поверхности, гари, открытые грунты. В итоге был составлен список геосистем, которые выделяли на снимках: водные поверхности (реки и озера), квазикоренные таежные хвойные леса, длительнопроизводные смешанные хвойно-лиственные леса, короткопроизводные березовые леса, болота, поймы рек с луговыми, лугово-болотными и кустарниковыми сообществами, гари и го-

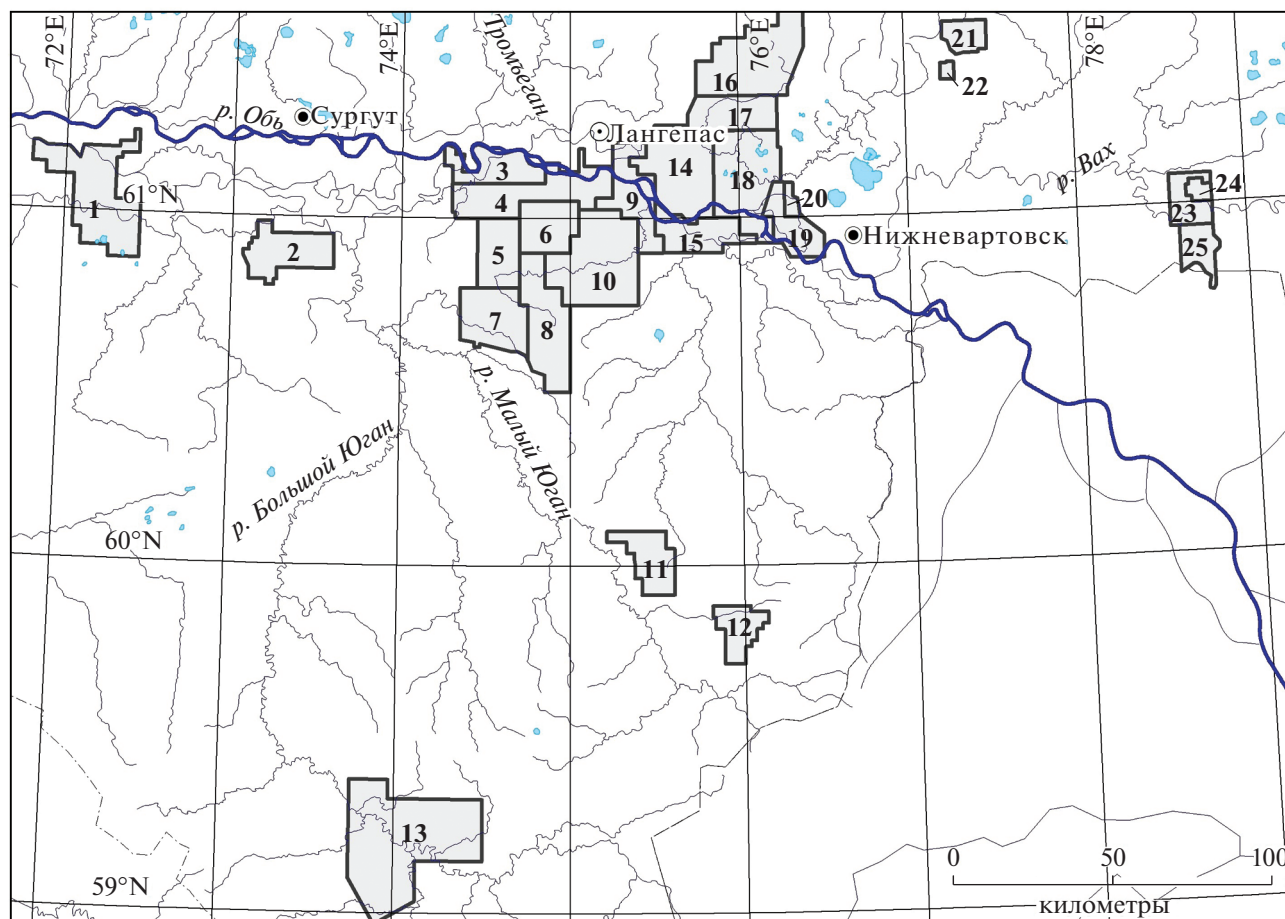


Рис. 1. Схема района работ. Лицензионные участки нефтедобычи: 1 – Западно-Усть-Балыкский; 2 – Западно-Асокинский; 3 – Покамсовский; 4 – Южно-Локосовский; 5 – Южно-Покамсовский; 6 – Северо-Островной; 7 – Новопокурский; 8 – Южно-Островной; 9 – Луговой; 10 – Кетовский; 11 – Ачимовский; 12 – Чистинный; 13 – Тайлаковский; 14 – Северо-Покурский; 15 – Северо-Ореховский; 16 – Аганский; 17 – Южно-Аганский; 18 – Ватинский; 19 – Мегионский; 20 – Мыхпайский; 21 – Узунский; 22 – Кысомский; 23 – Западно-Аригольский; 24 – Аригольский; 25 – Максимкинский.

рельники, вырубки, участки техногенных нарушений, селитебные территории.

На следующей стадии был проведен выбор оптимального алгоритма классификации. Для этого были опробованы алгоритмы К-Means классификации без обучения, классификации с обучением методами максимального правдоподобия, минимальных расстояний, расстояния Махаланобиса. При использовании алгоритмов классификации с обучением основная трудность состояла в малых размерах техногенных объектов (кустов скважин, промплощадок, технологических объектов), вследствие чего размеры обучающих участков были не более нескольких десятков пикселей. В итоге ни один из способов не дал достаточной точности в выделении техногенных объектов, часть из которых терялась при обработке. Поэтому картографирование нарушенности потребовало “ручной” доводки с использованием снимков сверхвысокого разрешения проекта Google Earth

и материалов с данными о размещении производственных объектов, переданных нефтедобывающими организациями. Ручная оцифровка, несмотря на значительную трудоемкость работ, является оптимальным способом выявления и оконтуривания нарушенных территорий при крупно- и среднемасштабном картографировании [8].

В ходе выбора методов векторизации было отмечено, что оптимальные результаты получаются при выборе небольшого (5–7) числа типов геосистем, имеющих отчетливые различия по своим спектральным характеристикам. При выделении большего (8–10) количества типов качество дешифрирования снижалось независимо от выбранного алгоритма классификации. Поэтому для каждого месторождения после визуального анализа выделяли 5–7 классов поверхности из приведенного выше списка. Количество классов задавалось при обработке космоснимка методом классификации без обучения при использовании

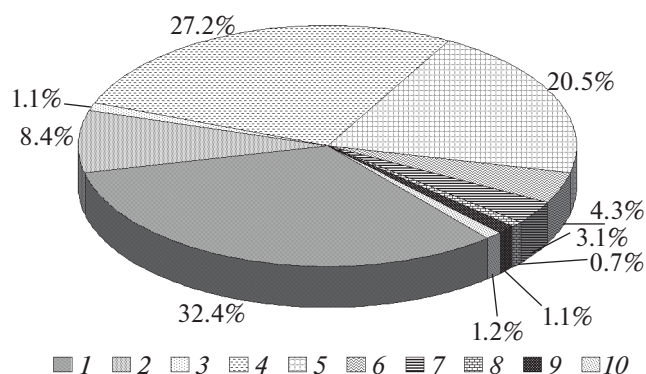


Рис. 2. Структура геосистем обследованных участков. 1–3 – леса: 1 – хвойные квазикоренные, 2 – длительнопроизводные хвойно-мелколиственные, 3 – короткопроизводные березовые; 4 – болота; 5 – геосистемы речных пойм; 6 – водные поверхности (реки и озера); 7 – участки техногенных нарушений; 8 – селитебные территории; 9 – гари и горельники; 10 – вырубки.

алгоритма максимального правдоподобия. После векторизации выделенных объектов проводилась дальнейшая обработка.

На последнем этапе с применением снимков сверхвысокого разрешения, картографических и текстовых данных о промышленных объектах месторождения уточнялись контура техногенных объектов, и при необходимости наносились линейные и площадные объекты, не выделенные на первой стадии обработки из-за малых размеров. В результате в ручном режиме с использованием данных недропользователей и снимков сверхвысокого разрешения были идентифицированы все техногенные объекты: разведочные и эксплуатационные скважины, дожимные насосные станции, установки комплексной подготовки нефти, кустовые площадки, трубопроводы, автодороги, линии электропередач, карьеры минерального грунта и торфа, шламовые амбары, а также формы непромышленных нарушений: селитебные территории, вырубки, гари и горельники.

Полевая заверка результатов дешифрирования была проведена в августе 2017 г. На ключевых участках проводилось описание растительного покрова, была дана характеристика вида антропогенных нарушений и степени трансформации природного комплекса. Полевая заверка подтвердила правильность выбранной методики и позволила уточнить типологическую принадлежность ряда природных и антропогенных ландшафтов. На последнем этапе для каждого участка были составлены векторные ландшафтно-типологические карты масштаба 1:50000 с использованием Mapinfo 8.0, и проведен подсчет площади, занимаемой различными природными и техногенными ландшафтами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ ландшафтной структуры обследованных участков показал, что наибольшее распространение имеют квазикоренные хвойные леса и болота различных типов, занимающие, соответственно 32.4 и 27.2% площади (рис. 2). Поскольку примерно половина обследованных участков полностью или частично расположены в пойме Оби, велика доля луговых и лугово-кустарниковых пойменных сообществ. Производные леса, возникновение которых связано с лесными пожарами или антропогенным влиянием, занимают 9.5% территории, в том числе длительнопроизводные смешанные леса 8.4%, короткопроизводные, находящиеся на начальной стадии восстановительных сукцессий – 1.1%. Иногда производные леса преобладают по площади над коренными, как например, на Западно-Усть-Балыкском месторождении, где коренные темнохвойные леса были нарушены пожарами 1980-х гг. В длительнопроизводных лесах в составе подроста практически повсеместно доминируют кедр, ель и пихта, что свидетельствует о постепенном восстановлении коренных сообществ.

Соотношение коренных и производных послепожарных сообществ в границах ландшафтов является универсальным объективным показателем многообразных последствий пожаров [17]. Ландшафты, в которых пирогенные сообщества представлены восстановительно-возрастными стадиями, занимающими в структуре ландшафтов до 30% площади, относятся к таежным территориям высокой пожароустойчивости [18]. На обследованных месторождениях соотношение площади квазикоренных и производных лесов составляет 3.4 : 1, т.е. производные леса занимают 23% лесопокрытой площади. Таким образом, территория относится к категории высокой пожароустойчивости, что связано с переувлажнением, слабой дренированностью и, как следствие, широким распространением заболоченных лесов. Тем не менее, значительная доля производных сообществ свидетельствует, что пожары являются постоянно действующим фактором, влияющим на состав и структуру биогеоценозов. В современном растительном покрове Западно-Сибирской тайги большая часть кедровых лесов представляет собой различные стадии восстановления пирогенных кедровников [13].

Результаты подсчетов площади всех форм нарушений на обследованных лицензионных участках приведены в табл. 1. Нарушенные геосистемы занимают 6.1% обследованной территории, в том числе нарушенные объектами нефтедобычи – 3.1%. Из непромышленных нарушений преобладают вырубки (1.2%), недавние гари, возникшие в результате пожаров 2011–2012 гг., занимают 1.1% (см. рис. 2).

Таблица 1. Показатели нарушенности ландшафтов на лицензионных участках нефтедобычи Среднего Приобья

Участок	Год начала добычи нефти	Доля земель, нарушенных инфраструктурой месторождений, % от общей площади			Доля земель с иными формами нарушений, % от общей площади				Всего нарушено, %
		Площадные объекты	Линейные объекты	Всего	Сели-тебные участки	Гари	Вырубки	Всего	
Аганский	1973	0.72	3.24	3.96	0	9.58	4.26	13.8	17.8
Аригольский	1994	1.12	3.76	4.88	0	0	5.64	5.64	10.5
Ачимовский	2004	0.51	1.82	2.33	0	7.83	2.34	10.2	12.5
Ватинский	1966	1.41	6.81	8.22	4.07	0.4	0.1	4.57	12.8
Западно-Аригольский	2000	0.13	1.02	1.15	0.54	0	1.06	1.6	2.8
Западно-Асомкинский	1994	0.43	1.91	2.34	0	0	0.73	0.73	3.1
Западно-Усть-Балыкский	2005	0.32	1.56	1.88	0.09	0	0.03	0.12	2.0
Кетовский	1987	0.21	1.03	1.24	0	0	2.39	2.39	3.6
Кысомский	1988	0.54	9.32	9.86	0	0	0	0	9.9
Луговой	2009	0.08	1.06	1.14	0	0	0.03	0.03	1.2
Максимкинский	2004	0.24	2.59	2.83	0	1.46	0.57	2.03	4.9
Мегионский	1964	0.89	6.42	7.31	14.3	1.21	0	15.5	22.9
Мыхпайский	1973	2.4	8.31	10.5	3.5	0	0	3.5	14.0
Новопокурский	1987	0.54	2.59	3.13	0	0	1.81	1.81	4.9
Покамасовский	1986	1.08	2.26	3.34	0.64	0	0.13	0.77	4.1
Северо-Покурский	1976	0.71	4.27	4.98	0.21	0	1.0	1.21	6.2
Северо-Ореховский	1994	0.2	0.85	1.05	0	0	0	0	1.1
Северо-Островной	1996	0.18	1.87	2.05	0	0	0	0	2.1
Тайлаковский	2004	0.86	2.17	3.03	0.02	0	0.70	0.72	3.8
Узунский	1998	0.58	5.28	5.86	0	0	8.06	8.06	13.9
Чистинный	2000	0.43	2.29	2.72	0	3.99	0.27	4.26	7.0
Южно-Аганский	1983	0.35	2.72	3.07	0	0	1.54	1.54	4.6
Южно-Локосовский	2002	0.30	1.54	1.84	0.32	0	0.12	0.44	2.3
Южно-Островной	2013	0.25	1.23	1.48	0	0	0.9	0.9	2.4
Южно-Покамасовский	1999	0.22	2.71	2.93	0	0	2.76	2.76	5.7

Площадь земель, которые занимают объекты инфраструктуры месторождений, варьирует от 1.05 до 10.5%. Эти значения незначительно превышают показатели, свойственные нефтяным месторождениям Урало-Заволжья, где повреждения, вызванные техногенной инфраструктурой, занимают от 0.88 до 5.18% [11]. Максимальная нарушенность выявлена на месторождениях, имеющих самый длительный срок эксплуатации — Мыхпайском, Мегионском и Ватинском, разработка которых началась в 1960—1970 гг.

Средневзвешенное значение площади, занятой техногенными объектами, по всем обследованным участкам составило 3.12%. Эта величина меньше, чем на Уренгойском нефтегазоконденсатном месторождении, где за счет строительства

объектов инфраструктуры повреждено 7.6% площади [5]. Следует отметить, что Уренгойское месторождение, одно из крупнейших в мире, эксплуатирующихся с 1976 г. Очевидно, что на уровень нарушенности влияют такие показатели, как длительность разработки и объем запасов.

При обустройстве месторождений обычно используется коридорный метод прокладки коммуникаций, при котором нефтепроводы и водоводы, линии электропередач и телемеханики прокладывают в едином коридоре с автодорогой. Обычно ширина коридора коммуникаций составляет 150—250 м, в отдельных случаях до 400 м. Коридорный метод прокладки коммуникаций на нефтяных промыслах позволяет на 10—15% уменьшить площадь, занимаемую линейными сооружениями

Таблица 2. Корреляционная матрица зависимостей между площадью нарушений и длительностью разработки месторождений

Показатель	Длительность эксплуатации	S площадных объектов	S линейных объектов	S селитебных участков	S гарей	S вырубок
Длительность эксплуатации	1					
S площадных объектов	0.61**	1				
S линейных объектов	0.65**	0.68**	1			
S селитебных участков	0.63**	0.38	0.47*	1		
S гарей	–0.05	0.01	–0.06	–0.02	1	
S вырубок	–0.10	–0.10	0.02	–0.21	0.30	1

* $p = 0.05$; ** $p = 0.01$.

[14]. Однако нарушения, вызванные прокладкой линейных объектов (трубопроводов, дорог, линий электропередач), в среднем в 5.9 раз превышают нарушения под площадными объектами (кустами добывающих скважин, карьерами минерального грунта и торфа, разведочными скважинами, дожимными насосными станциями и др.). Соотношение между площадью нарушений, вызванных линейными и площадными объектами, варьирует от месторождения к месторождению от 2 : 1 до 13 : 1. Максимальная доля линейных нарушений отмечена на месторождениях, через которые проходят межпромысловые трубопроводы и автодороги с соседних месторождений. Ранее отмечалось, что на 1 га, отводимый под площадные объекты на нефтяных месторождениях Западной Сибири, приходится 3.8 га земель, отводимых под линейные коммуникации [15]. Полученное нами значение несколько больше из-за густой сети внутрипромысловых, межпромысловых и магистральных нефтепроводов на большинстве обследованных месторождений.

Однако на обследованных месторождениях не всегда преобладают нарушения, связанные с непосредственным воздействием объектов нефтедобычи. На 8 участках площадь непромышленных нарушений больше площади промышленных объектов (см. табл. 1). К непромышленным формам нарушений отнесены селитебные территории, вырубки и гари. Иногда месторождения соседствуют с городами (Мегион, Нижневартовск), поэтому часть их территории занята пригородными дачными поселками и промзонами. На Аганском, Ачимовском и Чистинном месторождениях значительная часть территории занята гарями, возникшими вследствие лесных пожаров 2012 г. Восстановительные мероприятия, проведенные к настоящему времени, включают вырубки наиболее сильно поврежденных огнем участков и посадки леса. При дешифрировании снимков не были отнесены к нарушенным участкам старые вырубки и гари с полностью восстановившимся древесным ярусом.

Обследованные месторождения имеют разную длительность эксплуатации. Неоднократно отмечалось, что уровень нарушенности увеличивается с увеличением срока эксплуатации. Площади нарушений находятся в прямой зависимости от фонда скважин и продолжительности разработки [15, 19]. Однако нельзя проводить линейную зависимость между длительностью эксплуатации и уровнем нарушений, поскольку на стадии падения добычи площадь промышленных объектов стабилизируется и начинает постепенно уменьшаться [3].

На обследованных месторождениях, как показал корреляционный анализ, нарушенность зависит от длительности эксплуатации (табл. 2). Для площадных нарушений $r = 0.61$, для линейных $r = 0.65$, что по шкале Чеддока относится к связи средней силы. Отсутствие сильной зависимости связано с рядом причин. Некоторые месторождения находятся в стадии падающей добычи, во время которой происходит постепенный вывод скважин из эксплуатации, восстановление растительности на площадках разведочных буровых. В этом случае наблюдается отрицательная зависимость между площадью нарушенных геосистем и длительностью эксплуатации. Некоторые месторождения имеют короткий срок освоения, но через них проходит инфраструктура соседних месторождений, и соответственно уровень нарушенности относительно высок.

Существуют несколько шкал, нормирующих степень деградации природных комплексов в зависимости от нарушенности. Согласно Б.Н. Кочурову [7], если трансформированные ландшафты охватывают менее 10% территории, что в настоящий момент наблюдается на 18 месторождениях из 25 обследованных, степень деградации природных комплексов и уровень экологической опасности следует оценивать, как низкий. На остальных 7 месторождениях степень деградации средняя.

Анализ динамики растительности на участках, нарушенных нефтедобычей в Нижневартовском районе ХМАО показал, что для самовосстановле-

ния таежной растительности до зонального типа необходима сохранность не менее 75% растительного покрова [1]. Эти условия соблюдаются на всех обследованных месторождениях. Наблюдения за состоянием растительности свидетельствуют об успешном ее восстановлении после нарушений — как природных (пожары), так и техногенных (восстановление на вырубках). Тем не менее, нельзя недооценивать потенциальную угрозу природным комплексам. В экологии известно правило “11 процентов”, говорящее о том, что любая сложная система выносит без нарушения функций в среднем не более 11% ее составляющих [12]. На одном из обследованных месторождений площадь нарушенных в ходе техногенеза геосистем близка к этой пороговой величине. Следует также учитывать, что помимо механического нарушения, на экосистемы оказывает влияние нефтяное и солевое загрязнение, масштабы которого до сих пор не поддаются точному учету.

ВЫВОДЫ

Из-за малых линейных размеров многих техногенных объектов достижение высокой точности при их картографировании возможно только “ручным” способом с использованием космоснимков сверхвысокого разрешения.

На обследованных нефтяных месторождениях нарушенные геосистемы занимают 6.1% территории, в том числе непосредственно объектами инфраструктуры нефтедобычи повреждено в среднем 3.1%. Площадь коридоров коммуникаций в 5.9 раз больше, чем суммарная площадь нарушений под нелинейными объектами (кустами добывающих скважин, карьерами минерального грунта и торфа, площадками разведочного бурения, дожимными насосными станциями и др.).

В зависимости от длительности разработки, запасов нефти, развития транспортной сети, техногенными объектами повреждено от 1.05 до 10.5% от общей площади месторождений, что больше показателей нарушенности на нефтяных месторождениях Урало-Заволжья. Степень нарушенности зависит от длительности эксплуатации, однако корреляция между этими параметрами средняя по шкале Чеддока.

Производные леса занимают 23% лесопокрывной площади, что говорит о постоянно действующем пирогенном факторе.

Работа выполнена в рамках проектов АААА-А17-117050400146-1 и АААА-А19-119071990006-3 фундаментальных исследований СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аутов И.С.* Геоэкологический анализ для регионального планирования и системной экспертизы терри-

тории (на примере Нижневартовского региона): автореф. дисс. канд. геогр. н. Барнаул, 2006. 18 с.

2. *Бондур В.Г.* Аэрокосмические методы и технологии мониторинга нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса // Исследование Земли из космоса. 2010. № 6. С. 3–17.
3. *Каргашин П.Е., Ясев П.С.* Картографирование промышленного освоения Хохряковского нефтяного месторождения // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2016. Т. 2. № 4. С. 20–32.
4. *Копылов В.Н., Кочергин Г.А., Полищук Ю.М., Хамедов В.А.* Использование данных ДЗЗ при решении региональных задач рационального природопользования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Т. 6. № 1. С. 33–41.
5. *Корниенко С.Г.* Оценка влияния разработки Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения на состояние территории лесотундры по данным ИСЗ LANDSAT // Исследование Земли из космоса. 2009. № 4. С. 78–87.
6. *Корниенко С.Г.* Оценка трансформаций природных ландшафтов Тазовского полуострова по данным космической съемки // География и природные ресурсы. 2011. № 1. С. 67–73.
7. *Кочуров Б.И.* Экодиагностика и сбалансированное развитие. Москва-Смоленск: Маджента, 2003. 384 с.
8. *Лавриненко И.А.* Карта техногенной нарушенности растительного покрова Ненецкого автономного округа // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 2. С. 128–136.
9. *Мячина К.В.* Исследование динамики ландшафтной структуры нефтедобывающих территорий степной зоны Предуралья с применением ГИС-технологий на основе спутниковых данных // Геоинформатика. 2016. № 2. С. 2–13.
10. *Мячина К.В., Чибилёв А.А.* Выявление нарушенных нефтедобычей степных земель Оренбургского Заволжья на основе спутниковых данных // География и природные ресурсы. 2015. № 4. С. 135–141.
11. *Мячина К.В., Чибилёв А.А., Дубровская С.А.* Степные ландшафты Урало-Заволжья в условиях нефтегазодобычи: оценка прямых геоэкологических последствий и проблемы их минимизации // Доклады Академии наук. 2017. Т. 474. № 6. С. 741–745.
12. *Реймерс Н.Ф., Яблоков А.В.* Словарь терминов и понятий, связанных с охраной живой природы. М.: Наука, 1982. 145 с.
13. *Седых В.Н.* Динамика равнинных кедровых лесов Сибири. Новосибирск: Наука, 2014. 232 с.
14. *Соколов С.М., Шемякин С.А.* Выбор трасс трубопроводов и промысловых дорог Западной Сибири // Нефтяное хозяйство. 2011. № 3. С. 128–130.
15. *Соромотин А.В.* Экологические последствия различных этапов освоения нефтегазовых месторождений в таежной зоне Тюменской области // Сибирский экологический журнал. 2011. Т. 18. № 6. С. 813–822.

16. Физико-географическое районирование Тюменской области / Под ред. Гвоздецкого Н.А. М: МГУ, 1973. 246 с.
17. Фуряев В.В. Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука, 1996. 253 с.
18. Фуряев В.В., Киреев Д.М., Самсоненко С.Д. Идентификация пожароустойчивости лесов Западной Сибири // Лесоведение. 2015. № 1. С. 3–9.
19. Шор Е.Л. Оценка удельных показателей нарушения месторождений Нижневартовского района // Наука и образование ХМАО – XXI веку. Сб. тезисов докладов окружной конференции молодых ученых и специалистов. Сургут: СурГУ, 2000. С. 210–211.
20. Liu Q., Liu G., Huang C., Xie C. Vegetation patch structure and dynamics at Gudong oil field of the Yellow River delta, China // Geo-Informatics in Resource Management and Sustainable Ecosystem. Communications in Computer and Information Science. Bian F., Xie Y., Cui X., Zeng Y. (eds.). 2013. V. 398. P. 177–187. https://doi.org/10.1007/978-3-642-45025-9_20
21. Ouyang W., Hao F.-H., Fu Y., Zhan J. Desert disturbance assessments of regional oil exploitation by Aster and ETM+ images in Taklimakan Desert China // Environ Monit Assess. 2008. V. 144. P. 159–168. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9954-1>

ASSESSMENT OF THE TECHNOGENIC DISTURBANCE OF OIL FIELDS WITHIN THE MIDDLE OB RIVER REGION, RUSSIA, BY THE USE OF SATELLITE IMAGERY

D. V. Moskovchenko^{a,b,#}, A. G. Babushkin^{a,##}, and I. P. Idrisov^{b,###}

^a Tyumen Scientific Centre, Siberian branch RAS, ul. Malygina 86, Tyumen, 62502 Russia

^b Tyumen State University, ul. Volodarskogo 6, Tyumen, 625003 Russia

[#]E-mail: moskovchenko1965@gmail.com

^{##}E-mail: ab@gisi.ru

^{###}E-mail: ildaridrisov@yandex.ru

The present study focuses on landscape degradation and dynamics of forest cover in the Middle Ob region. Satellite imagery (Landsat-8 OLI and Sentinel-2) of the oil-development area was used to carry out a survey of the changing landscape. Areas of disturbed lands within 25 oil fields were estimated on the basis of data from remote sensing and subsequent field researches. The land cover types were classified based on the dominant vegetation type present in the area. Depending on the quantity of oil resources, the duration of their development and the transport network density, proportions of technogenically disturbed areas varied from 1.05 to 10.5% (3.1%, on average) of the oil fields' total areas. A total area of technogenic disturbance within the Middle Ob Region was found to be higher than that within oil fields in the Ural-Volga Interfluvium. Linear objects (roads, pipelines and powerlines) were shown to cause 5.9 times more disturbance than nonlinear objects (clusters of development wells, quarries, exploratory drilling sites, etc.). There was a significant correlation between the duration of oil field development and the area of disturbed geosystems. In eight of our study sites, areas of non-industrial disturbance caused by forest felling and forest fires were larger than areas of disturbance caused by the formation of petroleum development infrastructure. A continuous influence of fires on the structure and composition of forest communities was illustrated by the fact that secondary forests, most of which have a pyrogenic origin, represented 23% of the total forested area.

Keywords: oil production, Middle Ob region, remote sensing, disturbance, linear disturbances, burning areas

REFERENCES

1. Aitov, I.S. *Geoekologicheskii analiz dlya regional'nogo planirovaniya i sistemnoi ekspertizy territorii (na primere Nizhnevarтовского региона)* [Geoecological analysis for regional planning and a systematic examination of the territory (by the example of the Nizhnevarтовsk region)]. Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation. Barnaul, 2006, 18 p. (in Russian).
2. Bondur, V. G. Aerospace methods and technologies for monitoring oil and gas areas and facilities. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2011, vol. 47, no. 9, pp. 1007–1018.
3. Kargashin, P.E., Yasev, P.S. *Kartografirovaniye promyshlennogo osvoeniya Khokhryakovskogo neftyanogo mestorozhdeniya* [Mapping of the industrial development of the Khokhryakovskoye oil field]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopol'zovanie*, 2016, vol. 2, no 4, pp. 20–32. (in Russian).
4. Kopylov, V.N., Kochergin, G.A., Polishchuk, Yu.M., Khamedov, V.A. *Ispol'zovaniye dannykh DZZ pri reshenii regional'nykh zadach ratsional'nogo prirodopol'zovaniya* [Application of remote sensing data to the decision of regional tasks of rational usage by natural resources]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2009, vol. 6, no 1, pp. 33–41. (in Russian).
5. Kornienko, S. G. *Otsenka vliyaniya razrabotki Urengoi'skogo neftegazokondensatnogo mestorozhdeniya na sostoyaniye territorii lesotundry po dannym ISZ LANDSAT* [Estimation of the influence of the development of the Urengoi gas condensate field on the state of the forest tundra territory according to the data of the ISZ LANDSAT]

- mation of Urengoy oil and gas deposit mining impact on a condition of forest tundra landscape using Landsat data]. *Issledovaniye Zemli iz kosmosa*, 2009, no 4, pp. 78–87. (in Russian).
6. Kornienko, S.G. *Otsenka transformatsii prirodnnykh landshaftov Tazovskogo poluostrova po dannym kosmicheskoi s'emki* [Assessing the transformations of natural landscapes of the Taz Peninsula using space-borne imagery]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2011, vol. 32, no. 1, pp. 48–53. (in Russian).
 7. Kochurov, B.I. *Ekodiagnostika i sbalansirovannoye razvitiye* [Ecodiagnosics and sustainable development]. Moscow-Smolensk, Madzhenta Publ., 2003, 384 p. (in Russian).
 8. Lavrinenko, I.A. *Karta tekhnogennoi narushennosti ras-titel'nogo pokrova Nenetskogo avtonomnogo okruga* [Map of technogenic disturbance of the vegetation cover of the Nenets Autonomous Okrug]. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, vol. 15, no 2, pp. 128–136. (in Russian).
 9. Myachina, K.V. *Issledovaniye dinamiki landshaftnoi struktury nefte dobyvayushchikh territorii stepnoi zony Predural'ya s primeneniem GIS-tekhnologii na osnove sputnikovykh dannykh* [The study of the dynamics of the landscape structure of the oil-producing territories of the steppe zone of the Urals using GIS technology based on satellite data]. *Geoinformatika*, 2016, no. 2, pp. 2–13. (in Russian).
 10. Myachina, K.V., Chibilev, A.A. Use of satellite data to identify steppe lands of the Orenburg Trans-Volga region disturbed by oil development. *Geography and Natural Resources*, 2015, vol. 36, no 4. pp. 383–388.
 11. Myachina, K.V., Chibilev, A.A., Dubrovskaya, S.A. Steppe landscapes of the Ural–Volga region in response to oil and gas production: evaluation and minimization of direct geoecological aftereffects. *Doklady Earth Sciences*, 2017, vol. 474, no. 2, pp.709–712.
 12. Reymer, N. F., Yablokov, A.V. *Slovar' terminov i ponyatii, svyazannykh s okhranoi zhivoi prirody* [Glossary of terms and concepts related to the protection of wildlife]. Moscow, Nauka Publ., 1982, 145 p. (in Russian).
 13. Sedykh, V.N. *Dinamika ravninnykh kedrovyykh lesov Sibiri* [Dynamics of lowland cedar forests of Siberia]. Novosibirsk, Nauka, 2014. 232 p. (in Russian).
 14. Sokolov, S.M., Shemyakin, S.A. *Vybor trass truboprovodov i promyslovyykh dorog Zapadnoi Sibiri* [The choice of pipeline routes and field roads in Western Siberia]. *Neftyanoe khozyaistvo*, 2011, no. 3, pp.128–130. (in Russian).
 15. Soromotin, A.V. Ecological consequences of different stages of the development of oil and gas deposits in the taiga zone of the Tyumen oblast. *Contemporary Problems of Ecology*, 2011, vol. 4, no 6, pp. 600–607.
 16. *Fiziko-geograficheskoe raionirovaniye Tyumenskoi oblasti* [Physico-geographical zoning of the Tyumen region]. Gvozdet'skii, N.A., Ed., Moscow, Moscow State Univ. Publ, 1973. 246 p. (in Russian).
 17. Furaev, V.V. *Rol' pozharov v protsesse lesoobrazovaniya* [The role of fires in the process of forest formation]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1996, 253 p. (in Russian).
 18. Furaev, V.V., Kireev, D.M., Samsonenko, S.D. *Identifikatsiya pozharoustoichivosti lesov Zapadnoi Sibiri* [Identification of the forest fire resistance in Western Siberia]. *Lesovedenie*, 2015, no.1, pp. 3–9. (in Russian).
 19. Shor, E.L. *Otsenka udel'nykh pokazatelei narushennosti mestorozhdenii Nizhnevartovskogo raiona* [Assessment of specific disturbance indices of the Nizhnevartovsk district deposits]. Science and Education of KhMAD – to the XXIst Century, Abstracts of District Conf. of Young Scientists and Specialists (Surgut. Gos. Univ., Surgut, 2000), pp. 210–211 (in Russian).
 20. Liu, Q., Liu, G., Huang, C., Xie, C. Vegetation patch structure and dynamics at Gudong oil field of the Yellow River delta, China. *Geo-Informatics in Resource Management and Sustainable Ecosystem. Communications in Computer and Information Science*, 2013, vol. 398, pp. 177–187.
 21. Ouyang, W., Hao, F.-H., Fu, Y., Zhan, J. Desert disturbance assessments of regional oil exploitation by Aster and ETM+ images in Taklimakan Desert China. *Environ. Monit. Assess.* 2008, vol.144, pp.159–168.