

DOI 10.31509/2658-607x-202261-119
УДК 528.88:502.4

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОГО ГАЗОХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛЕСНЫХ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ВЫБРОСАМИ ПРИ СЖИГАНИИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

© 2023 г.

В. А. Хамедов^{1,2}, Н. В. Давыдова¹¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий

Россия, 630108, Новосибирск, ул. Плеханового, 10

² Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67

E-mail: khamedov.vladimir@mail.ru

Поступила в редакцию: 28.02.2023

После рецензирования: 18.03.2023

Принята к печати: 20.03.2023

Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений на территории Западной Сибири оказывает существенное воздействие на различные компоненты окружающей среды. В том числе воздействию подвергаются природные комплексы существующих особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и перспективные территории, значимые для сохранения биологического разнообразия и ландшафтов. В связи с проектируемым развитием системы ООПТ в Ханты-Мансийском автономном округе целью работы является оценка вероятного загрязнения муниципальных образований региона выбросами при сжигании попутного нефтяного газа для обеспечения поддержки принятия решений при выборе мест размещения перспективных охраняемых территорий. В работе представлена общая характеристика хронического теплового и газохимического загрязнения атмосферы продуктами сжигания попутного нефтяного газа, смоделированы ареалы вероятного атмосферного загрязнения в результате сжигания газа, проведена оценка динамики состояния растительности для территорий муниципальных образований, в границах которых планируется создание охраняемых природных территорий, и даны рекомендации по проектированию таких территорий.

Ключевые слова: попутный нефтяной газ, тепловое и газохимическое загрязнение, выбросы в атмосферу, BEGA-Science, NDVI, особо охраняемые природные территории

Ханты-Мансийский автономный округ является основным нефтедобывающим регионом России, на долю которого приходится около 41% общероссийской добычи нефти. По состоянию на 01.01.2022 г. на территории округа учтено 486 месторождений углеводородного сырья, в том числе 423 нефтяных, 23 нефтегазоконден-

сатных, 18 газовых, 5 газоконденсатных, 17 газонефтяных (Итоги работы Департамента..., 2022). Разработка и эксплуатация месторождений оказывает существенное воздействие на окружающую среду территории Западной Сибири. Вопросам регулирования воздействия нефтедобычи на состояние окружающей среды посвящен ряд работ. Например, в работе К. В. Мячиной и Е. В. Краснова (2021) разработана система оптимизационных решений для снижения нагрузки объектов нефтедобычи на ландшафты степных зон, в работе М. Н. Алексеевой и др. (2018) представлены методические вопросы определения зон теплового загрязнения в радиусе действия факельных установок, в другой работе М. Н. Алексеевой и др. (2019) предложена модель оценивания регионального загрязнения территорий и численно восстановлены поля относительного загрязнения окружающих территорий нефтедобычи в зимний и летний периоды года. Ю. М. Полищук и О. С. Токарева (2010) на основе математического моделирования и данных о выбросах в атмосферу загрязняющих веществ предлагают карты рисков негативного воздействия загрязнения атмосферного воздуха, А. В. Мещерякова и В. А. Хамедов (2020) рассматривают вопросы сохранения водно-болотных угодий в условиях интенсивного антропогенного воздействия, связанного с развитием инфраструктуры нефтяных месторождений Западной Сибири.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Общая площадь земель, на которых расположены леса Ханты-Мансийского автономного округа, составляет 50 396.9 тыс. га, в том числе земли лесного фонда — 49 351.6 тыс. га (4.3% от площади земель лесного фонда России, 44.1% от площади земель лесного фонда Уральского Федерального округа). Исследование характеристик лесных участков на примере одного из муниципальных образований округа — Советского района — было представлено ранее (Сочилова и др., 2018). В настоящее время на территории автономного округа находится 25 особо охраняемых природных территорий (ООПТ) общей площадью 2378 тыс. га, что составляет 0.2% от общего числа всех российских ООПТ и 1.1% от площади всех российских ООПТ (О концепции развития..., 2013). Эти показатели ниже в сравнении с другими субъектами Российской Федерации. С целью развития системы ООПТ предполагается создание дополнительных охраняемых территорий, перечень которых определен концепцией развития системы ООПТ автономного округа (О концепции развития..., 2013), разработанной в соответствии с Основами государственной политики в области экологического развития Российской Федерации и стратегией социально-экономического развития Ханты-Мансийского автономного округа — Югры на период до 2030 г. Концепцией представлен перечень муници-

пальных образований автономного округа, в границах которых проектируется создание перспективных ООПТ (табл. 1), однако для отдельных территорий не определены конкретные площади. Целью данной работы является оценка вероятного загрязнения территорий муниципальных

образований региона выбросами при сжигании попутного нефтяного газа (ПНГ) для поддержки принятия решений при выборе мест размещения перспективных охраняемых территорий, значимых для сохранения биологического разнообразия и ландшафтов.

Таблица 1. Перечень перспективных ООПТ Ханты-Мансийского автономного округа

№ п/п	Название	Местоположение (муниципальное образование)	Год подготовки обосновывающих материалов для организации ООПТ	Площадь, га
1	Природный парк «Маньинский» (2 кластера)	Березовский район	2027–2030	879 706
2	Заказник «Местыгъеганский»	Нижневартовский район	2025–2030	279 300
3	Заказник «Куминский»	Кондинский район	2022–2030	52 270
4	Заказник «Ванзеватский»	Белоярский район	2025–2030	42 086
5	Заказник «Верхне-Вахский»	Нижневартовский район	2025–2030	требуется уточнения
6	Памятник природы и его охранный зона «Тундринский кедровый бор»	Сургутский район	2023	215,5
7	Памятник природы и его охранный зона «Ягельный»	Нижневартовский район	2024	6699
8	Памятник природы и его охранный зона «Кулуманский»	Нижневартовский район	2026	4997
9	Памятник природы и его охранный зона «Геологический памятник природы Ледниковые валуны Шеркалы»	Октябрьский район	2027–2030	требуется уточнения
10	Памятник природы и его охранный зона «Голубые озера»	Ханты-Мансийский район	2026–2030	2794
11	Памятник природы и его охранный зона «Озеро Петровож»	Березовский район	2027–2030	требуется уточнения
12	Памятник природы и его охранный зона «Фронт пластины Ламвинского аллохтона»	Березовский район	2027–2030	требуется уточнения
13	Памятник природы и его охранный зона «Скальная пирамида-гора Большая Тыкотлова»	Березовский район	2027–2030	требуется уточнения

Хроническое тепловое и газохимическое загрязнение атмосферы продуктами сжигания ПНГ является одним из существенных факторов негативного воздействия на экосистему. Загрязнение атмосферы оказывает непосредственное воздействие на растительный покров территорий, прилегающих к объектам нефтедобычи. Для контроля их состояния могут быть использованы методы, основанные на обработке данных дистанционного зондирования Земли из космоса. Так, например, оценка состояния растительного покрова, подверженного атмосферному загрязнению, может осуществляться на основе индекса NDVI (Полищук и др., 2016; Косолапов, Хлебникова, 2021), обширные площади теплового загрязнения могут быть определены с использованием измерений, полученных прибором MODIS с космических аппаратов TERRA и AQUA, а состав газохимического загрязнения — с использованием приборов вертикального зондирования атмосферы, например CRIS/ATMS/OMPS космического аппарата NOAA-20. С использованием оптических спутниковых систем могут быть обнаружены участки сажевого загрязнения территорий, образуемого в результате неполного сгорания продуктов сжигания ПНГ. Согласно проведенным исследованиям (Алексеева и др., 2022), при сжигании газа на месторождениях в атмосферу выбрасываются CO и CO₂ (65–80%), сажа (10%), а также диоксид азота NO₂ (от 1 до 3%), SO₂ (около 0.1%), NO (0.1%), H₂S, бутан, гексан,

пентан, метан, этан, бензапирен. Образующиеся загрязняющие вещества, в том числе мелкодисперсные частицы (Particulate Matter) PM₁₀ и PM_{2,5}, попадая в атмосферу, локализуются в местах сжигания ПНГ, однако атмосферными потоками могут переноситься далеко за пределы действия факельных установок (Кирюшин и др., 2013). С целью регулирования мест размещения инфраструктуры нефтяных месторождений вблизи ООПТ и снижения риска непреднамеренного негативного воздействия на охраняемые территории в регионе создан и успешно функционирует цифровой сервис предоставления информации об ООПТ (Хамедов, Шишканов, 2022).

С использованием результатов дешифрирования космических снимков в геоинформационной системе (ГИС) смоделированы ареалы возможного теплового и газохимического загрязнения атмосферы в результате сжигания ПНГ. В качестве прогностических параметров в модели использованы плотность пространственного расположения установок по сжиганию ПНГ, их интенсивность (условная мощность факела) и повторяемость воздействия (частота обнаружения действующего факела) по данным космического мониторинга. Во время наблюдений в 2013–2015 гг. на территории автономного округа было выявлено 439 установок по сжиганию ПНГ (Куприянов, 2015) и определены их количественные характеристики. Общее количество выявленных дистанционными методами факелов по сжиганию ПНГ за все время на-

блюдения составило 545 ед. Воздействие загрязнения E рассчитано по формуле

$$E = N(i) \times P(i),$$

где $N(i)$ — частота обнаружений действующего i -го факела; $P(i)$ — условная мощность горения i -го газового факела.

На рис. 1 представлены результаты расчета ареалов вероятного загрязнения атмосферы продуктами сжигания ПНГ, выполненного с применением геостатистического метода кригинга (Oliver, Webster, 2007) в ГИС.

На рис. 1 места факельного сжигания ПНГ обозначены красными точками с градацией по частоте обнаружения горения факела спутниковыми методами, ареалы

вероятного теплового и газохимического загрязнения выбросами продуктов факельного сжигания ПНГ представлены в шкале от 1 (минимальное воздействие) до 4 (максимальное воздействие). Каждый ареал разделен на две части для улучшения визуального восприятия карты. Также на карту нанесены границы существующих ООПТ и границы муниципальных образований, в которых в соответствии с Концепцией развития и функционирования системы особо охраняемых природных территорий Ханты-Мансийского автономного округа — Югры на период до 2030 года (О концепции развития..., 2013) планируется создание ООПТ.

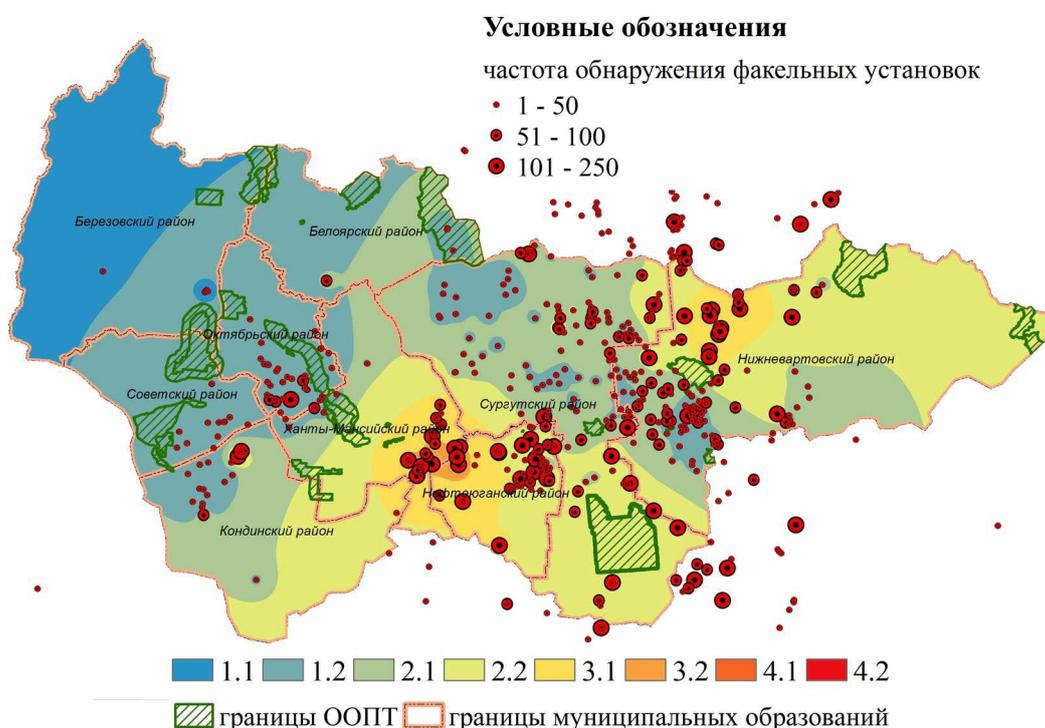


Рисунок 1. Ареалы вероятного атмосферного загрязнения продуктами сжигания ПНГ

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С использованием полученных в результате моделирования ареалов вероятного загрязнения атмосферы продуктами сжигания ПНГ проведено районирование муниципальных образований по степени экологической напряженности в условиях возможного газохимического загрязнения атмосферы по методике, используемой А. М. Трофимовым и др. (2008). Для расчета степени экологической напряженности $H(i)$ использована формула:

$$H = (10 S_4 + 5 S_3 + 3 S_2 + S_1) / 100,$$

где S_4 — доля площади ареалов максимального воздействия загрязнения; S_3 — доля площади ареалов с воздействием загрязнения ниже максимального; S_2 — доля площади ареалов с воздействием выше минимального; S_1 — доля площади ареалов с минимальным воздействием загрязнения.

В соответствии с представленной формулой, экологическая напряженность может принимать значения от 1 (низкая степень) до 10 (высокая степень). В табл. 2 представлены рассчитанные значения степени экологической напряженности муниципальных образований округа в условиях вероятного газохимического загрязнения атмосферы.

В соответствии с рассчитанной степенью экологической напряженности (табл. 2) наибольшее воздействие загрязняющих веществ в течение длительного

периода времени испытывают территории в границах муниципальных образований Нефтеюганского, Ханты-Мансийского и Нижневартовского районов. С учетом фактора влияния факельного сжигания ПНГ проектирование перспективных ООПТ возможно в пределах территорий с низкой степенью экологической напряженности (см. табл. 2), где влияние факельных установок на атмосферное загрязнение менее выражено.

Согласно данным П. А. Кирюшина и др. (2013), при удалении от источника сжигания на расстояние более 10 км остаточным тепловым воздействием на лесные экосистемы можно пренебречь, при этом возможно частичное проникновение и накопление остатков продуктов сжигания в фоновой зоне. Зоны воздействия газохимического загрязнения атмосферы при сжигании ПНГ значительно больше. Они достигают значений от десятков до сотен километров (Брыксин и др., 2009) и обусловлены атмосферным переносом продуктов сжигания тепловыми шлейфами от факельных установок. Спутниковые изображения, полученные, например, комбинацией тепловых каналов датчика MODIS, дают качественную картину газохимического загрязнения.

Для оценки вероятного газохимического загрязнения атмосферы продуктами сжигания ПНГ исследована межгодовая динамика состояния растительности на территории Нефтеюганского района (максимальное воздействие), Березовско-

Таблица 2. Степень экологической напряженности муниципальных образований

№ п/п	Наименование муниципального образования	Площадь муниципального образования, тыс. га	Ареалы вероятного загрязнения	Доля площади ареалов вероятного загрязнения, %	Степень экологической напряженности, баллы
1	Березовский район	8842	4.1; 4.2	0	1
			3.1; 3.2	0	
			2.1; 2.2	0	
			1.1; 1.2	100	
2	Белоярский район	4157	4.1; 4.2	0	1.652
			3.1; 3.2	0	
			2.1; 2.2	32,6	
			1.1; 1.2	67,4	
3	Советский район	3016	4.1; 4.2	0	1
			3.1; 3.2	0	
			2.1; 2.2	0	
			1.1; 1.2	100	
4	Октябрьский район	2536	4.1; 4.2	0	1.05
			3.1; 3.2	0,1	
			2.1; 2.2	2,3	
			1.1; 1.2	97,6	
5	Ханты-Мансийский район	4639	4.1; 4.2	0	3.286
			3.1; 3.2	26,9	
			2.1; 2.2	60,5	
			1.1; 1.2	12,6	
6	Кондинский район	5522	4.1; 4.2	0	2.734
			3.1; 3.2	3,5	
			2.1; 2.2	79,7	
			1.1; 1.2	16,8	
7	Сургутский район	10 490	4.1; 4.2	0	2.756
			3.1; 3.2	0,2	
			2.1; 2.2	87,4	
			1.1; 1.2	12,4	
8	Нефтеюганский район	2502	4.1; 4.2	0,8	4.046
			3.1; 3.2	49,5	
			2.1; 2.2	49,7	
			1.1; 1.2	0	
9	Нижневартовский район	11 939	4.1; 4.2	0,1	3.051
			3.1; 3.2	8,3	
			2.1; 2.2	85,5	
			1.1; 1.2	6,1	

го и Советского районов (минимальное воздействие) с 2001 по 2022 г. В качестве критерия оценки состояния растительности использован вегетационный индекс NDVI для хвойных вечнозеленых лесов, наиболее подверженных хроническому воздействию при газохимическом загрязнении атмосферы, рассчитанный с применением сервиса VEGA-Science (Лупян и др., 2021). В результате проведенного анализа установлено, что значительных отличий индексов вегетации для территорий с раз-

личной степенью вероятного загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания ПНГ не наблюдается (рис. 2), а снижение индекса в период с 2010 по 2012 г. могло быть вызвано природными факторами (снижением количества осадков), что, в том числе, послужило причиной масштабных лесных пожаров на территории региона в 2012 г. В целом состояние растительных покровов территорий муниципальных образований региона можно считать удовлетворительным.



Рисунок 2. Динамика NDVI хвойных вечнозеленых лесов на территории Нефтеюганского, Советского и Березовского районов за период с 2001 по 2022 г.

Одной из возможных причин отсутствия значительных отличий индекса вегетации для территорий с различной степенью вероятного загрязнения атмосферного воздуха может являться влияние розы ветров, относительно равномерно рассеивающей продукты сжигания ПНГ по территории региона. С использованием

информации портала <https://rp5.ru> выполнен анализ розы ветров по территориям муниципальных образований округа с 2005 по 2022 г. На рис. 3 в качестве примера представлены сезонные графики розы ветров за 2005 г., 2010 г., 2015 г. и 2020 г. на территории муниципального образования Нефтеюганский район.

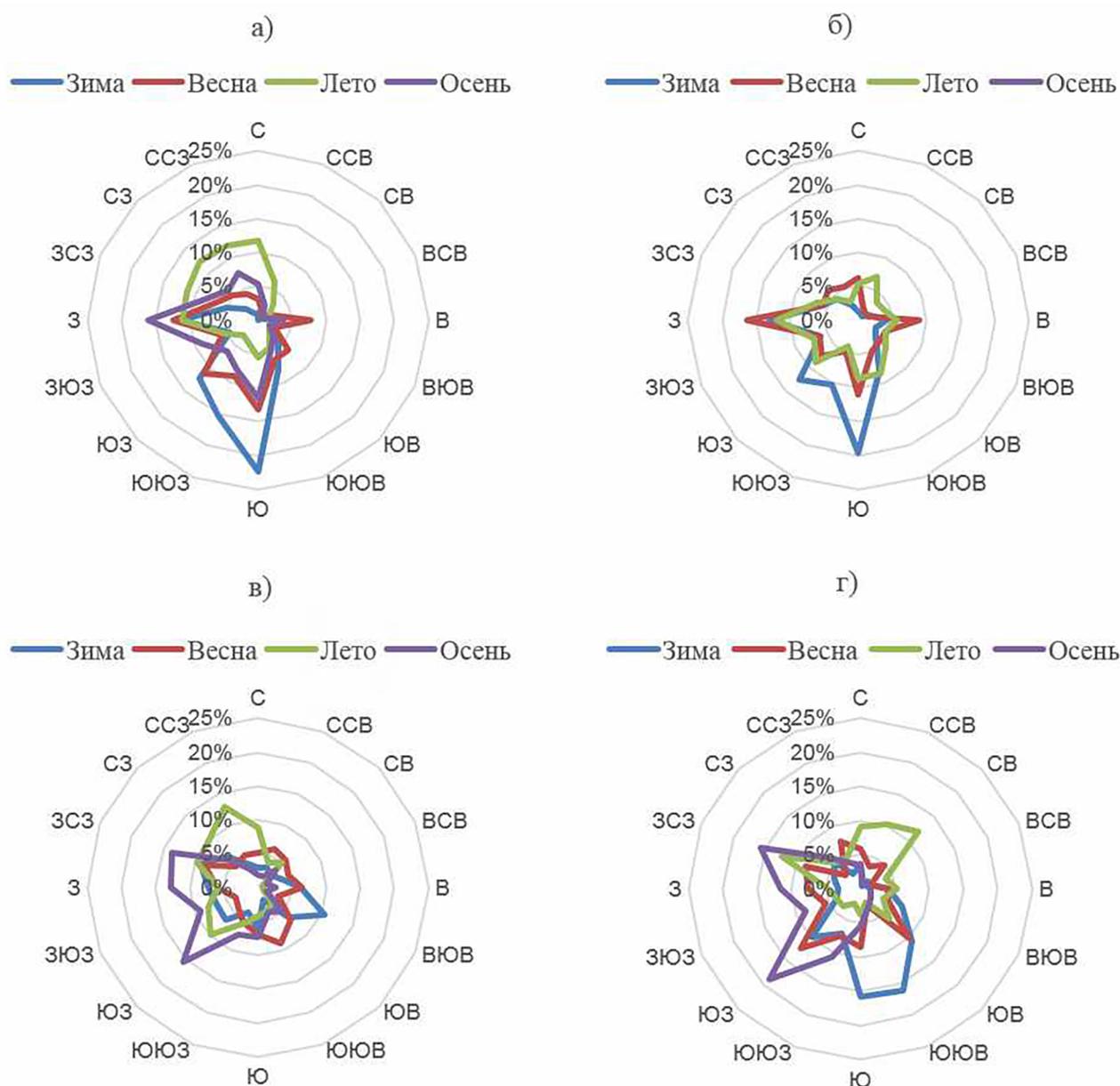


Рисунок 3. Сезонные графики розы ветров территории Нефтеюганского района:
а) за 2020 г., б) за 2015 г., в) за 2010 г., г) за 2005 г.

Дополнительно проведен анализ экологической отчетности, подтверждающий ежегодное снижение объемов загрязнения атмосферы в регионе в результате реализации нефтедобывающими предприятиями программ по повышению уровня утилизации попутного нефтяного газа. Так, в 2010 г. выбросы загрязняющих веществ в атмосферу составляли 2129,4 тыс. т, а в 2020 г. — 1142,2 тыс. т (Отчет о результатах..., 2021). При этом уровень использования ПНГ в 2022 г. составил 95,8% (Итоги работы Департамента..., 2022). По материалам отчетности Службы по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений Ханты-Мансийского автоном-

ного округа-Югры наблюдается устойчивое снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (рис. 4).

Особенно заметно стабильное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в период с 2012 г. Это свидетельствует об усилении мер в области охраны окружающей среды, в том числе охраны ООПТ. Регулирование деятельности в области сжигания ПНГ осуществляется в первую очередь с помощью действующих нормативно-правовых актов, а также соглашений между Правительством региона и нефтегазодобывающими предприятиями, что способствует повышению экологической безопасности региона в условиях существующей высокой техногенной нагрузки.



Рисунок 4. Валовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в Ханты-Мансийском автономном округе за период с 2010 по 2021 г., тыс. тонн.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Критически острых экологических проблем, связанных с негативным воздействием атмосферного загрязнения выбросами при сжигании попутного нефтяного газа на территории муниципальных образований, не выявлено. При проектировании границ перспективных ООПТ выбор территории должен осуществляться с учетом значимости сохранения биологического разнообразия и ландшафтов и минимизации локальных факторов возможного негативного воздействия объектов инфраструктуры нефтегазового комплек-

са, в том числе теплового и газохимического загрязнения продуктами сжигания попутного нефтяного газа. В дальнейшем перспективным является исследование влияния факельного сжигания ПНГ на биоту территории, прежде всего ООПТ, с изучением конкретных пространственно-объемных показателей по месторождениям полезных ископаемых, территориям лесничеств, ООПТ (существующих и перспективных) и построение прогноза вероятного атмосферного газохимического загрязнения территории региона к 2030 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеева М. Н., Головацкая Е. А., Яценко И. Г., Пустовалов К. Н.* Среднетаежные леса ХМАО в условиях нефтегазодобычи // Научные основы устойчивого управления лесами: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 30-летию ЦЭПЛ РАН. М.: ЦЭПЛ РАН, 2022. С. 146–149.
- Алексеева М. Н., Рапута В. Ф., Ярославцева Т. В., Яценко И. Г.* Оценка атмосферного загрязнения при сжигании попутного газа по данным дистанционных наблюдений теплового излучения // Оптика атмосферы и океана. 2019. Т. 32. № 11. С. 915–919.
- Алексеева М. Н., Яценко И. Г., Перемитина Т. О.* Тепловое воздействие на нефтедобывающие территории Томской области при сжигании попутного нефтяного газа // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 5. С. 52–60. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-52-60.
- Брыксин В. М., Евтюшкин А. В., Еремеев А. В., Макеева М. А., Хамедов В. А.* Автоматизированная система спутникового мониторинга пожарной обстановки в технологических коридорах трубопроводов и лесах ХМАО // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 1. С. 90–95.
- Итоги работы Департамента недропользования и природных ресурсов Ханты-Мансийского автономного округа — Югры за 2022 год по состоянию на 1 октября 2022

года. URL: <https://clck.ru/33q6zQ> (дата обращения 29.03.2023).

Кирюшин П. А., Книжников А. Ю., Кочи К. В., Пузанова Т. А., Уваров С. А. Попутный нефтяной газ в России: «Сжигать нельзя, перерабатывать!»: Аналитический доклад об экономических и экологических издержках сжигания попутного нефтяного газа в России. М.: Всемирный фонд природы, 2013. 88 с.

Косолапов В. А., Хлебникова Е. П. Мониторинг территорий с использованием спектральных индексов // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. 2021. № 2. С. 128–134. DOI: 10.33764/2687-041X-2021-2-128-134.

Куприянов М. А. Автоматизированная информационная система анализа данных дистанционного зондирования Земли для выявления действующих факельных установок // Геоинформационные технологии в решении задач рационального природопользования: материалы II Всероссийской научно-практической конференции. Ханты-Мансийск: Югорский формат, 2015. С. 82–84.

Лулян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А., Кашницкий А. В., Балашов И. В., Барталев С. А., Бриль А. А., Егоров В. А., Жарко В. О., Константинова А. М., Кобец Д. А., Мазуров А. А., Марченков В. В., Матвеев А. М., Миклашевич Т. С., Плот-

ников Д. Е., Радченко М. В., Стыценко Ф. В., Сычугов И. Г., Толпин В. А., Уваров И. А., Хвостиков С. А., Ховратович Т. С. Система «Вега-Science»: особенности построения, основные возможности и опыт использования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 1. № 6. С. 9–31.

Мещерякова А. В., Хамедов В. А. Особенности регионального управления водно-болотными угодьями на примере территории «Верхнее Двубье» Ханты-Мансийского автономного округа // Актуальные вопросы и инновационные технологии в развитии географических наук: сборник трудов Всероссийской научной конференции. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2020. С. 505–508.

Мячина К. В., Краснов Е. В. Пути оптимизации степных ландшафтов в условиях добычи нефти и газа // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16. № 1. С. 76–86.

О концепции развития и функционирования системы особо охраняемых природных территорий Ханты-Мансийского автономного округа — Югры на период до 2030 года. Постановление Правительства Ханты-Мансийского автономного округа — Югры от 12 июля 2013 г. № 245-п (ред. от 21.03.2014 № 98-п, от 26.04.2019 № 138-п). URL: <https://goo.su/PChke> (дата обращения 28.02.2023).

- Отчет о результатах деятельности Природнадзора Югры в сфере охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности за 2021 год. URL: <https://clck.ru/33q6xW> (дата обращения 29.03.2023).
- Полищук Ю. М., Токарева О. С. Картографирование экологических рисков воздействия нефтедобычи на растительный покров с использованием спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 3. С. 269–274.
- Полищук Ю. М., Хамедов В. А., Русакова В. В. Дистанционные исследования воздействия факельного сжигания попутного газа на лесорастительный покров нефтедобывающей территории с использованием вегетационного индекса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 1. С. 61–69.
- Сочилова Е. Н., Сурков Н. В., Ершов Д. В., Хамедов В. А. Оценка запасов фитомассы лесных пород по спутниковым изображениям высокого пространственного разрешения (на примере лесов Ханты-Мансийского АО) // Вопросы лесной науки. 2018. Т. 1. № 1. С. 1–23.
- Трофимов А. М., Кочуров Б. И., Кучерявенко Д. З., Рубцов В. А., Булатова Г. Н. Эколого-экономическое районирование как аспект управления состоянием региона // Ученые записки Казанского государственного университе-
- та. Серия: Естественные науки. 2008. Т. 150. № 4. С. 125–140.
- Хамедов В. А., Шишканов О. Ю. Опыт разработки цифрового сервиса предоставления информации об особо охраняемых природных территориях // Научные основы устойчивого управления лесами: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 30-летию ЦЭПЛ РАН. М.: ЦЭПЛ РАН, 2022. С. 204–206.
- Oliver M. A., Webster R. Kriging: A Method of Interpolation for Geographical Information Systems // International Journal of Geographic Information Systems. 2007. Vol. 4. No 3. P. 313–332.

REFERENCES

- Alekseeva M. N., Golovackaja E. A., Jashhenko I. G., Pustovalov K. N., Srednetaezhnye lesa HMAO v uslovijah neftegazodobychi (Middle taiga forests of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug in the conditions of oil and gas production), *Nauchnye osnovy ustojchivogo upravlenija lesami: materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvjashhennoj 30-letiju CEPL RAN* (Scientific Foundations of Sustainable Forest Management: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with International Participation Dedicated to the 30th Anniversary of the CEPL RAS), CEPF RAS, 2022, pp. 146–149.

- Alekseeva M. N., Jashhenko I. G., Peremintina T. O., Teplovoe vozdejstvie na nefte-dobyvajushhie territorii Tomskoj oblasti pri szhiganii poputnogo نفتجانого газа (Thermal impact on the oil-producing territories of the Tomsk region during the combustion of associated petroleum gas), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No 5, pp. 52–60.
- Alekseeva M. N., Raputa V. F., Jaroslavceva T. V., Jashhenko I. G., Ocenka atmosfernogo zagrjaznenija pri szhiganii poputnogo газа po dannym distancionnyh nabljudenij teplovogo izluchenija (Estimation of Atmospheric Pollution from Associated Gas Combustion Based on the Data of Remote Observations of Thermal Radiation), *Optika Atmosfery i Okeana*, 2019, Vol. 32, No 11, pp. 915–919.
- Bryksin V. M., Evtjushkin A. V., Ereemeev A. V., Makeeva M. A., Khamedov V. A., Avtomatizirovannaja sistema sputnikovogo monitoringa pozharnoj obstanovki v tehnologicheskikh koridorah truboprovodov i lesah HMAO (Automated system of satellite monitoring of fire situation in technological corridors of pipelines and forests of Khanty-Mansi Autonomous Okrug), *Optika Atmosfery i Okeana*, 2009, Vol. 22, No 1, pp. 90–95.
- Khamedov V. A., Shishkanov O. Ju., Opyt razrabotki cifrovogo servisa predostavlenija informacii ob osobo ohranjaemyh prirodnyh territorijah (Experience in developing a digital service for providing information on specially protected natural areas), *Nauchnye osnovy ustojchivogo upravlenija lesami: materialy vsrossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvjashhennoj 30-letiju CEPL RAN* (Scientific Foundations of Sustainable Forest Management: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with International Participation Dedicated to the 30th Anniversary of the CEPF RAS), CEPF RAS, 2022. pp. 204–206.
- Kirjushin P. A., Knizhnikov A. Ju., Kochi K. V., Puzanova T. A., Uvarov S. A., *Poputnyj نفتجانого газ v Rossii: "Szhigat' nel'zja, pererabatyvat'!": analiticheskij doklad ob jekonomicheskikh i jekologicheskikh izderzhkah szhiganiya poputnogo نفتجانого газа v Rossii* (Associated Petroleum Gas in Russia: "No Flaring, Recycling!": Analytical Report on the Economic and Environmental Costs of Flaring Associated Petroleum Gas in Russia), Moscow: World Wide Fund for Nature, 2013, p. 88.
- Kosolapov V. A., Hlebnikova E. P., Monitoring territorij s ispol'zovaniem spektral'nyh indeksov (Territory monitoring using spectral indices), *Regulirovanie zemel'no-imushhestvennyh otnoshenij v Rossii: pravovoe i geoprostranstvennoe obespechenie, ocenka nedvizhimosti, jekologija, tehnologicheskie reshenija* (Regulation of land and property relations in Russia: legal and geospatial support, real estate valuation, ecology, technological solutions), 2021, No 2, pp. 128–134.
- Kuprijanov M. A. Avtomatizirovannaja informacionnaja sistema analiza dannyh distancionnogo zondirovaniya Zemli

- dlja vyjavlenija dejstvujushhikh fakel'nyh ustanovok (Automated information system for analyzing data from remote sensing of the Earth to identify operating flare installations), *Geoinformacionnye tehnologii v reshenii zadach racional'nogo prirodopol'zovanija: materialy II vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii* (Geoinformation Technologies in Solving the Problems of Rational Nature Management: Proceedings of the II All-Russian Scientific and Practical Conference), Khanty-Mansiysk, 2015, pp. 82–84.
- Lupjan E. A., Proshin A. A., Burcev M. A., Kashnickij A. V., Balashov I. V., Bartalev S. A., Bril' A. A., Egorov V. A., Zharko V. O., Konstantinova A. M., Kobec D. A., Mazurov A. A., Marchenkov V. V., Matveev A. M., Miklashevich T. S., Plotnikov D. E., Radchenko M. V., Stycenko F. V., Sychugov I. G., Tolpin V. A., Uvarov I. A., Hvostikov S. A., Hovratovich T. S., Sistema "Vega-Science": osobennosti postroenija, osnovnye vozmozhnosti i opyt ispol'zovanija ("Vega-Science" system: construction features, main features and experience of use), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2021, Vol. 18, No 6, pp. 9–31.
- Meshherjakova A. V., Khamedov V. A., Osobennosti regional'nogo upravlenija vodnolotnymi ugod'jami na primere territorii "Verhnee Dvuob'e" Hanty-Mansijskogo avtonomnogo okruga (Features of regional management of wetlands on the example of the territory 'Upper Dvuobye' of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug), *Aktual'nye voprosy i innovacionnye tehnologii v razvitii geograficheskikh nauk* (Topical issues and innovative technologies in the development of geographical sciences): proceedings of the All-Russian Scientific Conference, Rostov-on-Don: Southern Federal University, 2020. pp. 505–508.
- Mjachina K. V., Krasnov E. V., Puti optimizacii stepnyh landshaftov v uslovijah dobychi nefti i gaza (Ways to optimize steppe landscapes in the conditions of oil and gas production), *Jug Rossii: jekologija, razvitie*, 2021, Vol. 16, No 1, pp. 76–86.
- O koncepcii razvitija i funkcionirovanija sistemy osobo ohranjaemyh prirodnyh territorij Hanty-Mansijskogo avtonomnogo okruga — Jugry na period do 2030 goda (On the concept of development and functioning of the system of specially protected natural areas of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Yugra for the period up to 2030), *Postanovlenie Pravitel'stva Hanty-Mansijskogo avtonomnogo okruga — Jugry ot 12 ijulja 2013 g. № 245-p (red. ot. 21.03.2014 No 98-p, ot 26.04.2019 № 138-p)*, available at: <https://goo.su/PChke> (February 28, 2023).
- Oliver M. A., Webster R., Kriging: A Method of Interpolation for Geographical Information Systems, *International Journal of Geographic Information Systems*, 2007, Vol. 4, No 3, pp. 313–332.
- Otchet o rezul'tatah dejatel'nosti Prirodnadzora Jugry v sfere ohrany okruzhajushhej sredy i obespechenija jekologicheskoj

bezopasnosti za 2021 god (Report on the results of the activities of the Natural Supervision of Yugra in the field of environmental protection and environmental safety for 2021), available at: <https://clck.ru/33q6xW> (March 29, 2023).

Polishhuk Ju. M., Khamedov V. A., Rusakova V. V.,

Distancionnye issledovaniya vozdeystvija fakel'nogo szhiganiya poputnogo gaza na lesorastitel'nyj pokrov neftedobyvajushhej territorii s ispol'zovaniem vegetacionnogo indeksa (Remote studies of the impact of associated gas flaring on the forest cover of an oil-producing area using the vegetation index), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No 1, pp. 61–69.

Polishhuk Ju. M., Tokareva O. S., Kartografirovanie jekologicheskikh riskov vozdeystvija neftedobychi na rastitel'nyj pokrov s ispol'zovaniem sputnikovyh dannyh (Mapping the environmental risks of the impact of oil production on vegetation using satellite data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2010, Vol. 7, No 3, pp. 269–274.

Results of the work of the Department of Subsoil Use and Natural Resources of the Khanty-

Mansiysk Autonomous Okrug — Yugra for 2022 as of October 1, 2022 (Results of the work of the Department of Subsoil Use and Natural Resources of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Yugra for 2022 as of October 1, 2022), available at: <https://clck.ru/33q6zQ> (March 29, 2023).

Sochilova E. N., Surkov N. V., Ershov D. V., Khamedov V. A., *Ocenka zapasov fitomassy lesnyh porod po sputnikovym izobrazhenijam vysokogo prostanstvennogo razresheniya (na primere lesov Hanty-Mansijskogo AO)* (Estimation of phytomass reserves of forest species based on satellite images of high spatial resolution (on the example of the forests of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug)), *Voprosy lesnoj nauki*, 2018, Vol. 1, No 1, pp. 1–23.

Trofimov A. M., Kochurov B. I., Kucherjavenko D. Z., Rubcov V. A., Bulatova G. N., *Jekologo-jekonomicheskoe rajonirovanie kak aspekt upravlenija sostojaniem regiona* (Ecological and economic zoning as an aspect of managing the state of the region), *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2008, Vol. 150, No 4, pp.125–140.

ASSESSMENT OF PROBABLE GAS CHEMICAL POLLUTION OF PROMISING FOREST PROTECTED AREAS BY APG BURNING EMISSIONS

V. A. Khamedov^{1,2}, N. V. Davydova¹

¹ *Siberian State University of Geosystems and Technologies
10, Plakhotnogo Str., Novosibirsk, 630108, Russia*

² *Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaia Str., Saint-Petersburg, 190000, Russia*

E-mail: khamedov.vladimir@mail.ru

Received: 28.02.2023

Revised: 18.03.2023

Accepted: 20.03.2023

The development and operation of oil fields in Western Siberia has a significant impact on various components of the environment. In particular, natural complexes of existing specially protected natural areas and promising areas that are significant for the conservation of biological diversity and landscapes are affected. In connection with the projected development of a system of specially protected natural areas in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug, the aim of the work is to assess the likely pollution of municipalities in the region by emissions from the combustion of associated petroleum gas to provide decision support when choosing locations for promising protected areas. The paper presents a general description of chronic thermal and gas-chemical pollution of the atmosphere by products of associated petroleum gas combustion, zones of probable atmospheric pollution as a result of gas combustion are modeled, an assessment is made of the dynamics of the state of vegetation for the territories of municipalities, within the boundaries of which it is planned to create protected natural areas, and recommendations are given for designing such territories.

Key words: *APG, thermal and gas-chemical pollution, atmospheric emissions, VEGA-Science, NDVI, protected areas*

Рецензент: д. г. н. Булатов В. И.