

УДК 504.064

DOI: 10.15372/ChUR2021284

## Экологические аспекты добычи углеводородов в Пуровском районе Ямало-Ненецкого автономного округа

М. Н. АЛЕКСЕЕВА, И. Г. ЯЩЕНКО

Институт химии нефти СО РАН,  
Томск (Россия)

E-mail: amn@ipc.tsc.ru

### Аннотация

В связи с существующей проблемой растепления вечномерзлых грунтов в Арктической зоне России актуально применение космических снимков для дешифрирования тепловых объектов на месторождениях Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) для выявления зон деформации грунтов. Проведены пространственный и статистический анализы спутниковых температурных данных, объемов добычи углеводородов и количества действующих факельных установок на примере 16 месторождений в Пуровском районе ЯНАО. Установлена корреляционная связь между объемами добычи углеводородов и рассчитанной площадью тепловых зон. Пространственный анализ размещения тепловых установок указывает на их неблагоприятное влияние на окружающую среду в виде растепления и деформации мерзлотных ландшафтов.

**Ключевые слова:** Пуровский район, термоточки, космические снимки, многолетнемерзлые породы, добыча и запасы углеводородов, коэффициент корреляции Спирмена, цифровая карта рельефа

### ВВЕДЕНИЕ

В России на территориях с распространением многолетнемерзлых пород добывается около 93 % природного газа и 75 % нефти [1]. В последнее время глобальное потепление, а также хозяйственная деятельность человека – две главные причины растепления и деформации вечномерзлых грунтов. При таянии вечной мерзлоты происходит неравномерная осадка грунта или выдавливание опор и фундаментов при промерзании. Известно, что деформации подвергаются около 40 % всех инженерных сооружений в криолитозоне [2]. Например, вблизи пос. Уренгой был отмечен подъем секции трубопровода на 1.5 м в течение одного года. На территории Ямбургского газоконденсатного месторождения из-за морозного пучения в 2007–2009 гг. было повреждено около 8 тыс. опор газопроводов [2].

На месторождениях возможными источниками тепла выступают фундаменты инженерных объектов, добывающие и нагнетательные скважины, трубопроводы, факельные системы [1, 3]. По данным [4], в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО) в 2015 г. при добыче попутного нефтяного газа (ПНГ) в объеме 9.3 млрд м<sup>3</sup> было сожжено его на факелах 1.5 млрд м<sup>3</sup>. По официальной статистической информации, уровень утилизации ПНГ в ЯНАО в 2015 г. составил 84 %, в настоящее время достиг 92 %, что, однако, по-прежнему не соответствует установленным нормативам [4].

Поэтому актуально рассмотрение экологических проблем добычи углеводородов на месторождениях Пуровского района ЯНАО. Цель работы – исследование теплового влияния объектов добычи углеводородов на ландшафты территории месторождений Пуровского района. Для этого были решены следующие задачи: охарак-

теризованы географические и геологические условия добычи углеводородов; с использованием данных космических снимков Landsat 8 определены и картированы термоточки (высокотемпературные пиксели цифровой карты, в данном случае – это действующие факельные установки) и тепловые зоны их воздействия; выполнен корреляционный анализ для установления взаимосвязи между объемами добычи углеводородов и площадью тепловых зон негативного воздействия на ландшафты месторождений Пууровского района.

#### ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования выбран Пууровский район, расположенный в центре ЯНАО в пределах Западно-Сибирской равнины в бассейне р. Пуур. Район граничит: на западе – с Надымским, на востоке – с Тазовским и Красноселькупским районами ЯНАО, на юге – с Сургутским и Нижневартовским районами Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Север района омывается водами Тазовской губы. Площадь Пууровского района составляет 108,6 тыс. км<sup>2</sup> (15 % территории ЯНАО), протяженность с севера на юг – 710 км, с запада на восток – почти 400 км [5].

Климат Пууровского района континентальный со среднегодовой температурой воздуха от –6,8 °С (г. Тарко-Сале) до –7,8 °С (пос. Уренгой). Амплитуда среднемесячных температур воздуха составляет 40 °С. Годовое количество осадков – 400 мм. Средние скорости ветра – 3–4 м/с.

В Пууровском районе севернее 61-й параллели криолитозона является островной, в основном в низинах, осадочные породы грунтов – глины, суглинки, пески, торф – находятся в мерзлотном состоянии, а севернее 66-й параллели мерзлота становится сплошной.

В центральной части Пууровского района распространены следующие типы почв: таежно-поверхностно-глеевые и охристо-элювиально-глеевые, таежно-поверхностно-глеевые на суглинистых и глинистых отложениях, глеево-подзолистые, подзолисто-болотные и торфяно-болотные.

Земли лесного фонда в Пууровском районе составляют 8550 тыс. га. Растительность представлена северотаежными редкостойными лесами. Распространены лиственнично-сосново-кедровые леса, с усилением роли сосны на глинистых почвах, а лиственницы – на песках.

Леса на дренированных подзолистых суглинках вдоль речных долин и по вершинам водораздельных холмов состоят из сосны, лиственницы и пушистой березы. В заболоченных разреженных лесах развиты: кустарниковый ярус (нередко из карликовой березы), болотные полукустарники, моховой покров с большим количеством лишайников [6, 7].

На территории Пууровского района ведется интенсивная нефте- и газодобыча. Крупнейшими нефтедобывающими предприятиями являются ПАО “Газпром нефть” и ПАО «НК “Роснефть”». В 2017 г. в районе добыто 29,4 млн т нефти и 200,9 млрд м<sup>3</sup> газа, при этом предприятиями “Газпром нефти” получено 7 млн т нефти (44,0 % от объемов добытой нефти по району), “Роснефти” – 4,6 млн т (28,9 %) [8].

В Пууровском районе 46 разрабатываемых месторождений (17 нефтяных, 23 нефтегазоконденсатных, 5 газонефтяных, 1 нефтегазовое), а также 16 газопроводов и 14 нефтепроводов. Крупнейшие месторождения – Уренгойское, Вынгапууровское, Комсомольское. Месторождения нефти и газа ЯНАО относятся к мезозойским осадочным толщам в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Наибольшая плотность разрабатываемых месторождений наблюдается в Надым-Пууровской, Пуур-Тазовской, Средне-Обской нефтегазоносных областях (НГО, рис. 1). Пууровский район частично охватывает эти НГО с нефтегазоносными районами (НГР) – Ноябрьским, Губкинским, Тазовским, Уренгойским [9].

Проведено детектирование факельных установок и зон их теплового воздействия на 16 месторождениях Пууровского района: Береговое, Яро-Яхинское, Уренгойское, Западно-Таркосалинское, Восточно-Таркосалинское, Центрально-Пуурпейское, Губкинское, Присклоновое (Усть-Пуурпейский лицензионный участок), Комсомольское, Северо-Комсомольское, Барсуковское, Спорышевское, Вынгаяхинское, Тарасовское, Самбургское, Холмистое.

#### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе применяли геоинформационный пространственный и статистический методы анализа. Пространственный анализ проведен с использованием векторных тематических слоев цифровой нефтегазоносной карты в составе: НГР, НГО, углеводородные месторождения. Для выявления негативного теплового влияния на

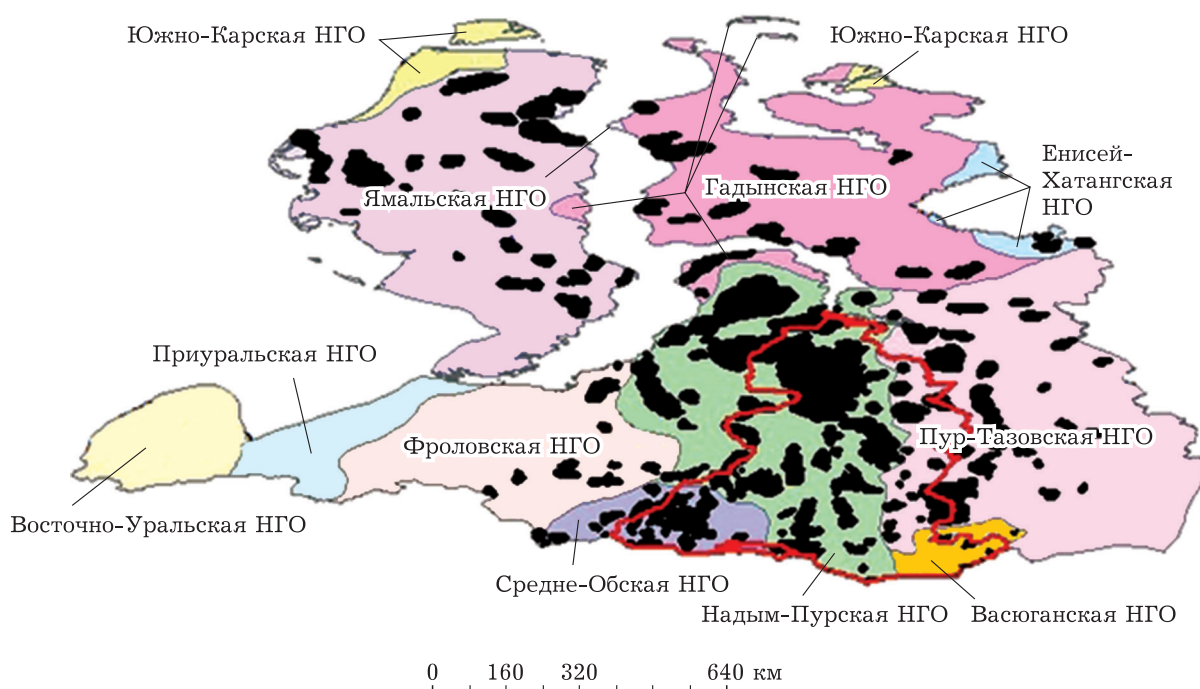


Рис. 1. Карта-схема нефтегазоносных областей (НГО) в границах Ямало-Ненецкого автономного округа [8] с указанием границы Пуровского района (красная линия).

ландшафты была построена карта уклонов местности по цифровым моделям рельефа SRTM, и проведен пространственный анализ размещения термоточек Уренгойского месторождения.

Статистический анализ включал расчет коэффициента корреляции между площадью зон теплового негативного воздействия и объемами добычи углеводородов на месторождениях Пуровского района. Детектирование термоточек и картирование зон теплового воздействия проводилось по двум спектральным каналам космических снимков Landsat 8 – 10 (10.30–11.30 мкм) и 11 (11.50–12.50 мкм) – на основе методики [10].

Коэффициент корреляции Спирмена ( $r_s$ ) рассчитывали по формуле [11]:

$$r_s = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{N(N^2 - 1)} \quad (1)$$

где  $i$  – номер термоточки;  $N$  – их общее число. Для каждой термоточки вычисляли квадрат разности рангов:  $d_i^2 = (R_x - R_y)^2$ . Ранги ( $R$ ) присваивались путем сортировки значений по добыче и запасам углеводородов согласно методике [11].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате дешифрирования тепловых космических снимков Landsat 8 в Пуровском райо-

не площадью 108.6 тыс. км<sup>2</sup> выявлено в сумме 49 термоточек на 23 нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождениях. По состоянию на начало 2015 г. в Надымском и Губкинском НГР более 90 % всех запасов углеводородов связано с сеноманскими резервуарами [12]. В табл. 1 представлена сводная информация по 16 месторождениям Пуровского района с указанием запасов и объемов добычи [13, 14], вычисленной совокупной площади теплового воздействия и количества действующих факельных установок.

Наибольшие по совокупной площади зоны теплового воздействия выявлены на нефтегазоконденсатных месторождениях: Уренгойском (0.70 км<sup>2</sup>), Яро-Яхинском (0.62 км<sup>2</sup>), Восточно-Таркосалинском (0.32 км<sup>2</sup>), на Усть-Пурпейском лицензионном участке (0.13 км<sup>2</sup>), для которых отмечен высокий уровень добычи углеводородов – от 554 до 65 000 тыс. т (см. табл. 1). Данные месторождения расположены в Уренгойском, Тазовском, Губкинском и Вэнгапуровском НГР.

Установлено, что наибольшее количество термоточек находится на территории Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения – 10 факельных установок (см. табл. 1), которое является одним из крупнейших в мире. Оно расположено на левобережье р. Пур, занимает площадь около 6000 м<sup>2</sup>, простирается с севера на юг более чем на 230 км, а его ширина варьи-

ТАБЛИЦА 1

Промысловые данные на месторождениях Пуровского района ЯНАО [12, 13], площади зон теплового воздействия и количество факельных установок (ФУ)

№	Название месторождения	Нефтегазовая область (НГО)	Нефтегазоносный район (НГР)	Углеводороды (нефть, газ, конденсат), т		Сообщество теплового воздействия, км <sup>2</sup>	Количество ФУ
				Запасы	Добыча		
1	Холмистое	Пур-Тазовская	Бахловский	9 700 000 (нефть)	144 905 (нефть)	0,02	1
2	Вынгайинское	>>	Вынгауровский	75 300 000 (нефть)	554 000 (нефть)	0,10	3
3	Тарасовское	>>	>>	101 930 000 (нефть)	600 000 (нефть)	0,12	2
4	Яро-Яхинское	>>	Тазовский	10 000 000 (нефть и конденсат)	1 300 000 (нефть и конденсат)	0,62	3
				44 295 302 (газ)	5 167 785 (газ)		
				54 295 302 (сумма)	6 467 785 (сумма)		
5	Самбургское	>>	Уренгойский	2 600 000 (нефть)	646 000 (нефть)	0,12	3
				17 046 979 (газ)	3 221 476 (газ)		
				19 646 979 (сумма)	3 867 476 (сумма)		
6	Береговое	>>	Тазовский	328 993 289 (газ)	7 583 893 (газ)	0,01	1
7	Северо-Комсомольское	Надым-Пурская	Губкинский	199 900 000 (нефть)	180 000 (нефть)	0,04	1
8	Уренгойское	>>	Уренгойский	484 800 000 (нефть)	64 295 302 (газ)	0,70	10
				4 282 617 450 (газ)	210 000 (нефть)		
				4 767 417 450 (сумма)	64 505 302 (сумма)		
9	Западно-Таркосалинское	>>	Губкинский	40 600 000 (нефть)	375 000 (нефть)	0,05	1
				7 100 000 (конденсат)			
				298 456 376 (газ)			
				346 156 376 (сумма)			
10	Восточно-Таркосалинское	>>	>>	298 456 375 (газ)	4 966 443 (газ)	0,32	4
				18 000 000 (нефть)	1 290 000 (нефть)		
				316 456 375 (сумма)	6 256 443 (сумма)		
11	Усть-Пурпейский лицензионный участок (Центрально-Пурпейское, Губкинское, Присклоновое)	>>	>>	15 457 000 (нефть)	1 390 000 (нефть)	0,13	2
				1 148 000 (конденсат)	225 000 (конденсат)		
				268 456 376 (газ)	383 221 (растворенный газ)		
				285 061 376 (сумма)	9 980 536 (газ)		
					11 978 757 (сумма)		
12	Комсомольское	>>	>>	689 730 000 (нефть)	1 926 356 (нефть)	0,10	3
				4 918 000 (конденсат)	20 201 342 (газ)		
				36 649 664 (газ)	22 127 698 (сумма)		
				731 297 664 (сумма)			
13	Барсуковское	>>	>>	43 706 000 (нефть)	3 856 200 (нефть)	0,01	1
				3 422 819 (газ)			
				47 128 819 (сумма)			
14	Спорышевское	Средне-Обская	Ноябрьский	49 005 000 (нефть и растворенный газ)	1 540 000 (нефть)	0,04	3



рует от 30 до 60 км. Месторождение включает три основных горизонта: сеноманские, валанжинские и ачимовские залежи с глубинами залегания 1000–1700, 1700–3200 и 3500–4000 м соответственно. В пределах месторождения выявлены: 1 газовая, 7 газоконденсатных, 30 газоконденсатонефтяных и 3 нефтяные залежи. Добыча газа в 2016 г. составила 64 295 302 т, нефти – 210 000 т.

В состав Уренгойского энергетического комплекса входят 22 установки комплексной подготовки газа, 33 дожимных компрессорных станции, 5 станций охлаждения газа и 1 установка подготовки конденсатного топлива мощностью 15–20 млрд м<sup>3</sup> в год, а также порядка 1400 км межпромысловых трубопроводов [15].

Установлена корреляционная связь между совокупными площадями зон теплового воздей-

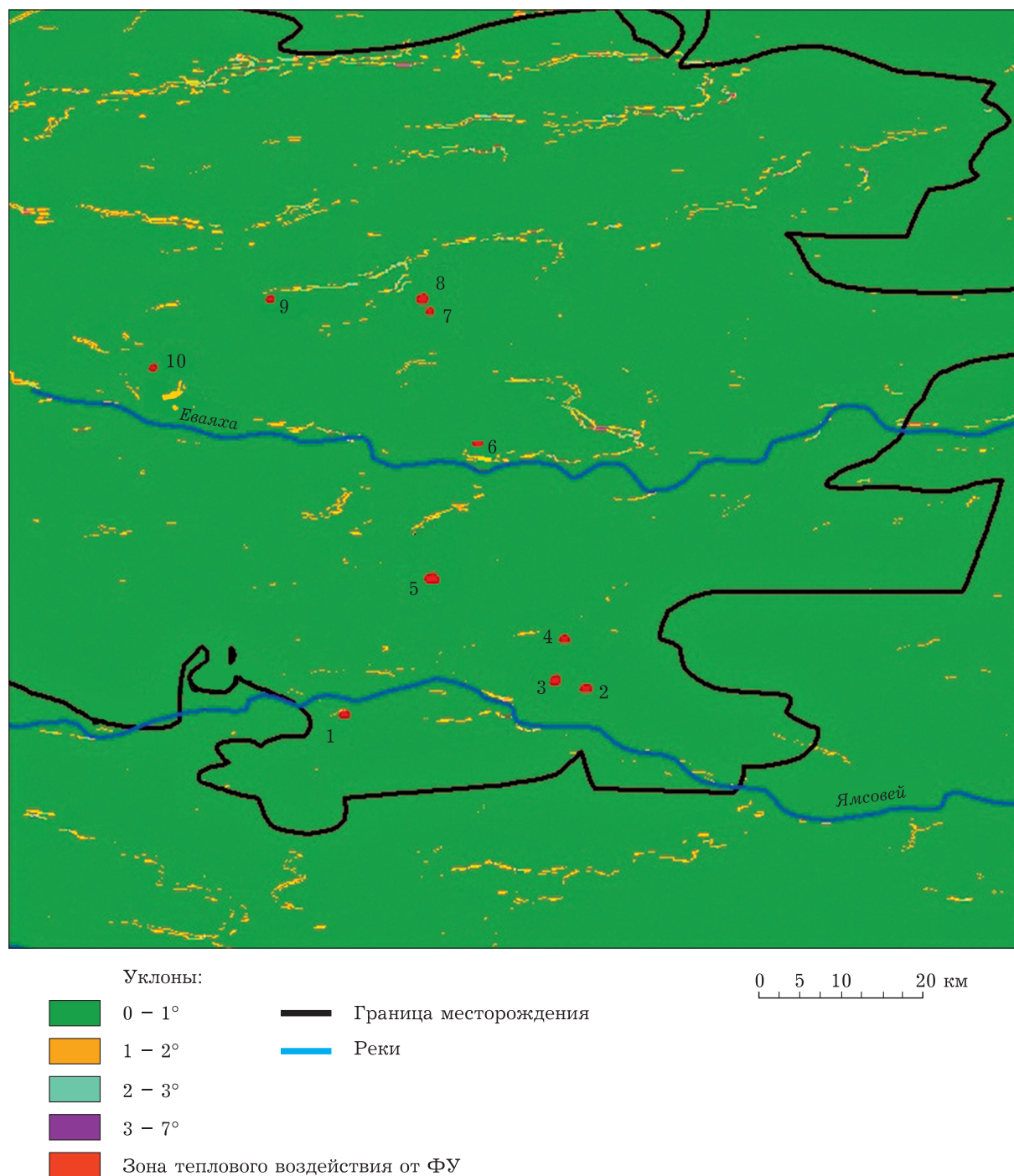


Рис. 2. Карта уклонов местности южной части Уренгойского месторождения с обозначением зон теплового воздействия факельных установок (ФУ).

ствия и общим объемом добычи углеводородов на месторождениях. Коэффициент корреляции Спирмена составляет 0.53 при уровне значимости 0.05, что указывает на достоверную связь между площадью теплового воздействия и добычей углеводородов. Корреляция между общим запасом углеводородов и их добычей по месторождениям составляет 0.48 при уровне значимости 0.10.

В работе [3] рассчитано, что увеличение мощности вертикального факела в 3.6 раза в течение 15 сут влечет за собой повышение температуры на поверхности отсыпки почти в два раза. Однако, благодаря использованию теплоизолирующих материалов, сравнительно краткосрочный нагрев поверхности не слишком сказывается на глубоких слоях отсыпки. Установлено, что температура спустя полгода после аварийного повышения мощности факела увеличивается не более чем на 1 °С.

На рис. 2 показано расположение факельных установок на Уренгойском месторождении. По методике [16] с использованием космических снимков Landsat 8 нами определены уклоны на ландшафте в границах месторождения. Установлено, что термоточки и зоны теплового воздействия находятся в основном в поймах, плоских заболоченных понижениях и водоразделах с крутизной склонов до 1° (см. рис. 2). Для тундровых ландшафтов вследствие дефицита тепла, низкой активности биогеохимических процессов и наличия мерзлотного водоупора характерна повышенная неустойчивость к техногенным нагрузкам [17]. Вечная мерзлота находится в пластах и подвергается деформации при бурении и строительстве объектов нефтедобычи. По данным “Роснефти” [18], на Комсомольском и Северо-Комсомольском, Барсуковском, Тарасовском, Губкинском месторождениях скважины проходят: верхний слой мерзлых почв, который залегает до глубины 10–50 м (температура слоя – до –1.2 °С, льдистость – до 0.7); далее второй слой, который находится на глубине 160–350 м (температура – до –3 °С, льдистость – до 0.25 м).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате дешифрирования тепловых космических снимков Landsat 8 в Пууровском районе площадью 108.6 тыс. км<sup>2</sup> выявлено в сумме 49 термоточек на 23 нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождениях. Определена взаимосвязь между объемом добычи углеводородов и

площадью зон теплового воздействия для 16 месторождений района. Коэффициент корреляции Спирмена составляет 0.53 при уровне значимости 0.05.

Установлено, что на Уренгойском месторождении факельные установки расположены в относительно устойчивых местах с уклоном до 1°, однако фактор растепления и деформации грунтов присутствует, что требует дальнейших исследований в этом направлении.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХН СО РАН, финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (НИОКТР 121031500048-1).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ваганова Н. А., Филимонов М. Ю. Моделирование динамики зон оттаивания многолетнемерзлых пород на кустовых площадках от добывающих скважин и инженерных объектов // Сб. материалов Всеросс. науч.-практ. конф. “Современные технологии извлечения нефти и газа. Перспективы развития минерально-сырьевого комплекса (российский и мировой опыт)”. Ижевск: Изд. дом “Удмурдский университет”, 2016. С. 210–222.
- Громадский А. Н. Основные факторы, оказывающие воздействие на вечномерзлые грунты, и анализ их взаимодействия // Науч. вестн. Ямало-Ненец. авт. округа. 2016. № 4 (93). С. 20–24.
- Ваганова Н. А., Филимонов М. Ю. Долгосрочное прогнозирование влияния техногенных факторов на деградацию вечной мерзлоты в арктических и приполярных районах // Сб. докл. XII Междунар. конф. “Российские регионы в фокусе перемен”. Екатеринбург, 16–18 ноября 2017. Екатеринбург: ООО “Издательство УМЦ УПИ”, 2018. С. 463–473.
- Эдер Л. В., Проворная И. В., Филимонова И. В. Добыча и утилизация попутного нефтяного газа как направление комплексного освоения недр: роль государства и бизнеса, технологий и экологических ограничений // Бурение и нефть. 2016. № 10. С. 8–15. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://burneft.ru/archive/issues/2016-10/8> (дата обращения: 19.12.2020).
- Солодников А. Ю. Недропользование в бассейне реки Пур: топливно-энергетические ресурсы Пууровского района // Науч. вестн. Ямало-Ненец. авт. округа. 2018. № 3 (100). С. 16–26.
- Об утверждении лесного плана Ямало-Ненецкого автономного округа (с изменениями на 30 октября 2020 года). Постановление от 22 февраля 2019 года № 19-ПГ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/558817095> (дата обращения: 19.12.2020).
- Генеральный план сельского поселения Пууровское. Проекты планировки и межевания территории. Решение от 20.12.2010 № 175 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://purovskoe.ru/general-nyu-plan.html> (дата обращения: 19.12.2020).
- Доклад Об экологической ситуации в Ямало-Ненецком автономном округе в 2017 году. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.yanao.ru/documents/all/active/16672/> (дата обращения: 19.12.2020).

- 9 Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра). Единое окно доступа к информационным ресурсам [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sobr.geosys.ru/?ctrl=GisSOBR> (дата обращения: 17.12.2020).
- 10 Алексеева М. Н., Яценко И. Г. Алгоритм детектирования факельных установок по сжиганию попутного нефтяного газа и оценка объемов выбросов вредных веществ // Оптика атмосферы и океана. 2019. Т. 32, № 6. С. 490–494.
- 11 Смирнов М. Б. Основы обработки экспериментальных данных. Курс лекций. Учебное пособие для химиков и геохимиков. М.: ИНХС РАН, 2013.
- 12 Конторович В. А., Аюнова Д. В., Губин И. А., Ершов С. В., Калинин А. Ю., Калинина Л. М., Канаков М. С., Соловьев М. В., Сурикова Е. С., Шестакова Н. И. Сейсмостратиграфия, история формирования и газонасыщенность структур Надым-Пурского междуречья (Западная Сибирь) // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 8. С. 1583–1595.
- 13 Государственный доклад “О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016 и 2017 годах” [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennyye\\_doklady/](https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennyye_doklady/) (дата обращения: 17.12.2020).
- 14 Yashchenko I. G., Polishchuk Yu. M. Classification of poorly recoverable oils and analysis of their quality characteristics // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2016. Vol. 52, No. 4. P. 434–444.
- 15 Уренгойское месторождение [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://petrodigest.ru/dir/oilfields/rus-of-yanao-of/urengojskoe-mestorozhdenie> (дата обращения: 17.12.2020).
- 16 Создание и публикация карт, аналитики и данных [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://desktop.arcgis.com/ru/> (дата обращения: 17.12.2020).
- 17 Пшеничников Б. Ф., Пшеничникова Н. Ф. Ландшафтоведение. Учебное пособие. Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2012. 244 с.
- 18 ОАО «НК «Роснефть». Приложение 3.2. Геологические данные ЗЭС. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tektorg.ru/document.php?id=898962> (дата обращения: 17.12.2020).