

УДК 504.062.4:332.142.6: 631.42

## ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА БУРОВЫХ ПЛОЩАДКАХ РОСТОВЦЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

**Тимшанов Рустам Ильясович<sup>1</sup>,**  
TimshanovRI@ipgg.sbras.ru

**Колесников Роман Александрович<sup>2</sup>,**  
roman387@mail.ru

**Моргун Евгения Николаевна<sup>2</sup>,**  
morgun148@gmail.com

**Еделев Алексей Викторович<sup>1</sup>,**  
EdelevAV@ipgg.sbras.ru

**Юркевич Наталия Викторовна<sup>1</sup>,**  
YurkevichNV@ipgg.sbras.ru

**Кулешова Татьяна Алексеевна<sup>1</sup>,**  
KuleshovaTA@ipgg.sbras.ru

<sup>1</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,  
Россия, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3.

<sup>2</sup> ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики»,  
Россия, 629008, г. Салехард, ул. Республики, 20.

**Актуальность** исследования обусловлена длительным воздействием на объекты окружающей среды (в частности почвы) площадок геологоразведочных скважин, пробуренных в 80–90-х гг. XX в. на территории континентальной части российской Арктики. Устойчивость загрязнения обусловлена прежде всего низкой способностью северных экосистем к самоочищению. Оценка экологической опасности загрязненных грунтов и производственно-хозяйственных отходов на примере Ростовцевского месторождения позволит рассмотреть возможность реализации мер по восстановлению компонентов экосистемы.

**Цель работы** заключается в оценке современного состояния почвенного покрова на Ростовцевском месторождении углеводородов. **Объект:** территория в районе 25 скважин Ростовцевского месторождения углеводородов (полуостров Ямал, ЯНАО), пробуренных в период с 1986 по 1989 гг.

**Методы.** Комплекс исследований включал отбор и лабораторный анализ 103 проб фоновых и загрязненных почв из верхнего (0–10 см) и нижнего (10–20 см) горизонтов. Особое внимание уделялось изучению анионно-катионного состава, содержания металлов, нефтепродуктов, фенолов, анионных поверхностно-активных веществ.

**Результаты.** Установлен факт прямого загрязнения почв нефтепродуктами, сульфатом бария, цинком, свинцом и другими металлами. Кроме этого, антропогенное воздействие привело к подавлению естественных неоднородностей геохимического поля и формированию однородной приповерхностной физико-химической обстановки. В пределах почвенного слоя отмечается перераспределение соединений и элементов, содержание которых либо не изменилось (анионные поверхностно-активные вещества, мышьяк), либо заметно снизилось (хлорид-ион, обменный аммоний). По суммарному показателю загрязнения вблизи 23 из 25 исследованных буровых площадок содержание вредных веществ охарактеризовано как чрезвычайно опасное. Основной вклад в суммарный показатель загрязнения вносят нефтепродукты.

### **Ключевые слова:**

Остаточное загрязнение углеводородами, экология, антропогенное воздействие, естественное геохимическое поле, буровые площадки, нефтепродукты в почве, восстановление арктических экосистем.

### **Введение**

Начиная со второй половины XX в. одним из главных направлений освоения арктических территорий являлось развитие добывающей промышленности [1–3]. Поиск, разведка и разработка месторождений неизбежно приводили к образованию отходов, а отсутствие системного подхода к их утилизации и низкая способность северных экосистем к самоочищению выразились в накопленном загрязнении окружающей среды [4–6]. Проблемы добычи полезных ископаемых в целом возникают из-за пагубного экологического и социального воздействия и их совокупного влияния на социально-экологические системы [7]. Оценка масшта-

бов остаточного загрязнения с целью разработки эффективных способов восстановления загрязненных территорий является в настоящий момент актуальной задачей. Основными гидрохимическими показателями, в максимальной степени отражающими качественные признаки вод, являются органические вещества и ионно-солевой состав [8, 9]. Химический состав водных экосистем зависит от слагающих пород, климата, количества и формы растворенных веществ, а также множества иных факторов [10]. Арктические регионы являются особо уязвимыми к повышению содержания металлов в окружающей среде в силу низкого уровня энерго- и массообменов в холодных широтах [11, 12].

### Объект исследования

Ростовцевское нефтегазоконденсатное месторождение было открыто в середине 80-х гг. XX в. Расположено оно в южной части полуострова Ямал. В период с 1986 по 1989 гг. было пробурено более двадцати поисковых и разведочных скважин. В связи со сложной политической и экономической ситуацией в стране по завершению этих работ не выполнялись даже примитивные природоохранные мероприятия, околоскважинные производственные площадки до настоящего времени остаются захламленными различными производственно-хозяйственными отходами (остатками бурового оборудования, автотракторной техники, емкостями, химреагентами, цементом, остатками электролиний и прочими производственными и бытовыми отходами).

Оценка опасности загрязненных земель и производственно-хозяйственных отходов для окружающей среды на площади Ростовцевского месторождения позволит на примере этого объекта оценить возможность реализации мер по восстановлению компонентов экосистемы.

### Методы

#### Отбор проб

В ходе работы экспедиционного отряда с 16 по 29 июля 2019 г. были отобраны образцы фоновых и антропогенно измененных почв в районе 25 скважин Ростовцевского месторождения углеводородов (рис. 1, 2).

Отбор проб почвы проводился в соответствии с действующими нормативными документами: ГОСТ 17.4.3.01-2017, ГОСТ 17.4.4.02-2017, ГОСТ 28168-89, ГОСТ Р. 53123-2008. В районе каждой скважины было взято по пять точечных проб, расположенных по методу конверта в зоне, подвергшейся антропогенному воздействию, в радиусе 10–50 м от скважины. Точечные пробы отбирались с двух почвенных горизонтов (5–10 и 10–20 см). Соответственно были сформированы две объединенные пробы, каждая массой около 1 кг, с верхнего и нижнего почвенных горизонтов.

На трёх объектах (в районе скважин №№ 68, 81 и 94) в местах, где были замечены явно выраженные загрязнения почвы нефтепродуктами, были взяты пробы из верхнего горизонта (0–10 см) массой около 1 кг. В целях определения фоновых характеристик территории, соответствующих естественному состоянию природных ландшафтов, было отобрано по два почвенных образца, с глубины 5–10 и 10–20 см весом 1,0...1,1 кг на расстоянии 100–1000 м от границы участков, подвергшихся антропогенному воздействию. Отобранные пробы почв (всего 103 шт.) герметично упаковывались в полиэтиленовые пакеты с маркировкой наименования и номера объекта, номера пробы, глубины опробования. После отбора пробы высушивались в условиях полевого лагеря и лаборатории.

#### Лабораторные исследования

Выполнены лабораторно-аналитические исследования предоставленных проб по методикам измерений, аттестованным в соответствии с ГОСТ Р 8.563. Проведен химический анализ точечных, групповых и специальных проб почв на следующие показатели: рН водной вытяжки (потенциометрический метод по ГОСТ 26423-85), нитрат-ион, фосфат-ион, хлорид-ион, сульфат-ион (хроматографический метод по ПНД Ф 16.1.8-98 [13]), аммоний обменный (фотометрический метод по ГОСТ 26489-85), нефтепродукты (флуориметрический метод по ПНД Ф 16.1.2.21-98 [14]), фенолы летучие (фотометрический метод по ПНД Ф 16.1.2.3:3.44-05 [15]), анионные поверхностно-активные вещества (АПАВ) (экстракционно-фотометрический метод по ПНД Ф 16.1.2:2.2:3.66-10 [16]), валовые формы меди, свинца, цинка, марганца, никеля, хрома, мышьяка, кадмия, бария и ртути методом атомно-абсорбционной спектроскопии (электротермическая атомизация). Основная часть лабораторных исследований выполнена в лаборатории физико-химических методов исследований ИНГГ СО РАН (аттестат аккредитации Ra.Ru.21АЖ28).

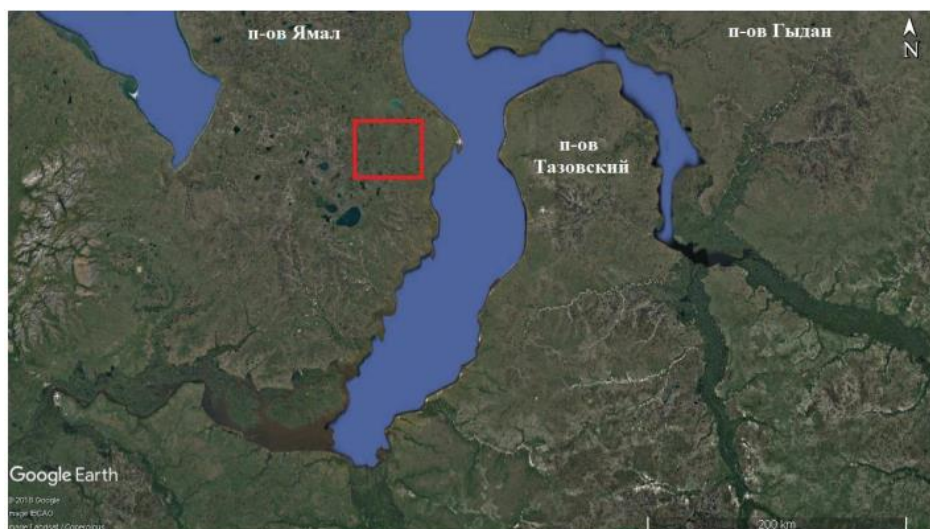


Рис. 1. Район исследований

Fig. 1. Research area

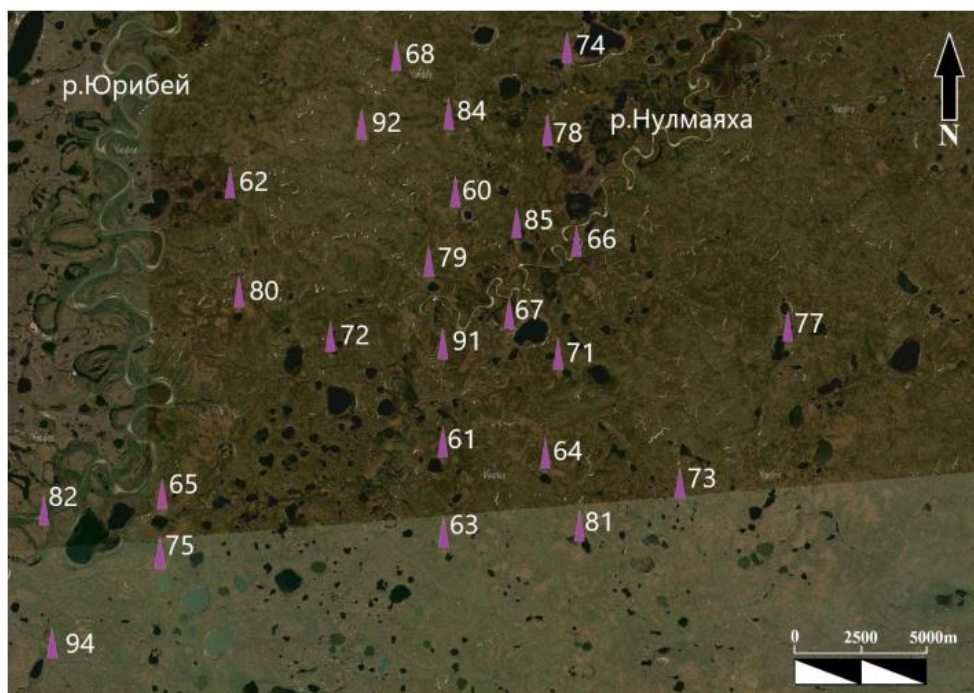


Рис. 2. Расположение исследованных скважин

Fig. 2. Location of surveyed wells

#### Методика оценки экологического состояния

Оценка уровня химического загрязнения почв в данной работе проводилась по показателям:

- коэффициент концентрации химического вещества ( $K_c$ ).  $K_c$  определяется отношением фактического содержания определяемого вещества в почве ( $C_i$ ) в мг/кг почвы к региональному фоновому ( $C_{фi}$ ):

$$K_c = C_i / C_{фi};$$

- суммарный показатель загрязнения, который равен сумме коэффициентов концентраций химических элементов-загрязнителей и выражен формулой:

$$Z_c = \sum(K_{c1} + \dots + K_{cn}) - (n-1),$$

где  $n$  – число определяемых суммируемых веществ;  $K_{ci}$  – коэффициент концентрации  $i$ -го компонента загрязнения.

Далее по ориентировочной оценочной шкале опасности загрязнения почв оценивается категория загрязнения почв по МУ 2.1.7.730-99 [17].

Таблица 1. Оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения  $Z_c$

Table 1. Evaluation scale of soil pollution hazard according to the total pollution indicator  $Z_c$

Категория загрязнения почв Soil pollution category	Суммарный показатель загрязнения Total pollution indicator
Допустимая/Permissible	менее 16/less than 16
Умеренно опасная Moderately dangerous	16–32
Опасная/Dangerous	32–128
Чрезвычайно опасная Extremely dangerous	более 128/more than 128

#### Результаты и обсуждение

Физико-химические параметры проб почвы. Основной анионный состав

Почвы как объект экологического мониторинга обладают рядом качеств. Одно из них, обусловленное присутствием таких соединений, как алюмосиликаты, гидроксиды, гуминовые и фульво-кислоты и др., – это депонирование попавших в почву загрязняющих веществ. С одной стороны, это затрудняет их перенос в водную и воздушную среды, в организмы растений, животных и человека. С другой стороны, почва при изменении условий среды (влажности, температуры, характере растительности и др.) становится источником задержанных соединений.

Значения водородного показателя (рН) водной вытяжки определяют кислотность почвы. Почвы, отнесенные к фоновым, характеризовались в основном слабокислой реакцией среды (для верхнего горизонта  $pH_{cp}=5,6$ , для нижнего – 5,7), что соответствует литературным данным [18]. В семи образцах (из пятидесяти) выявлена среднекислая реакция ( $pH=4,5...4,9$ ).

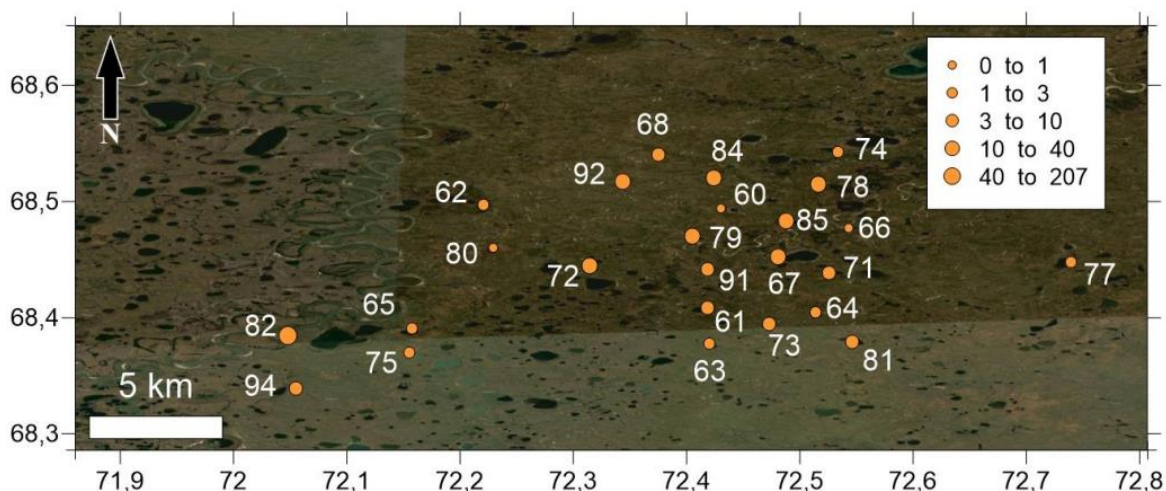
Почвенные пробы, отобранные на участках антропогенной нагрузки, имеют околонейтральные значения рН (для верхнего и нижнего горизонтов  $pH_{cp}=6,8$ ). В восьми образцах (из пятидесяти трех) выявлена слабощелочная реакция ( $pH=7,8...8,1$ ). Полученные данные свидетельствуют о том, что исследованные почвы по большей части в районе скважин имеют значения рН водной вытяжки выше, чем фоновые.

Содержания сульфат-ионов в почвенных пробах различаются для условно фоновых (для верхнего горизонта  $C(SO_4)_{cp}=27$  мг/кг, для нижнего – 5,3 мг/кг) и подвергшихся техногенному воздействию (для верхнего горизонта  $C(SO_4)_{cp}=71$  мг/кг, для нижнего –



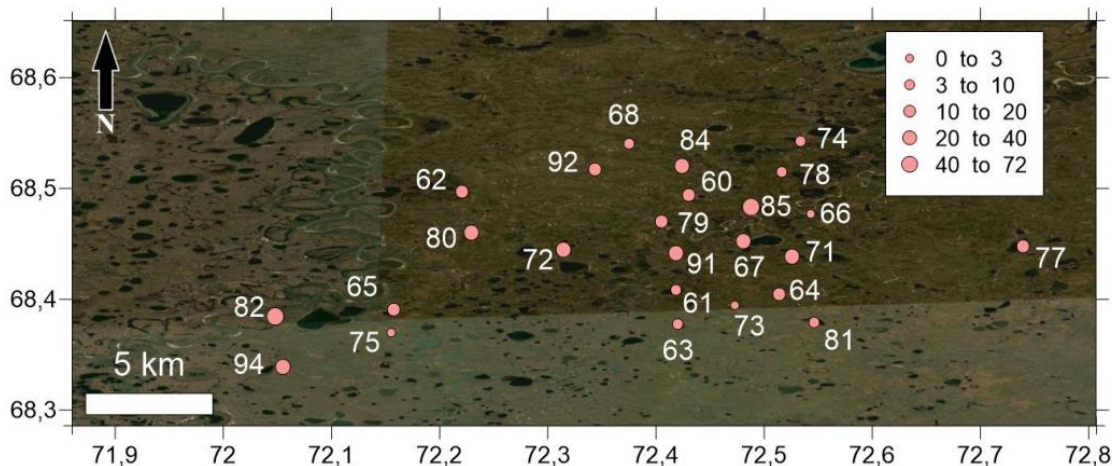
61 мг/кг). Их содержание в антропогенно-измененных почвах превышает соответствующее (по почвенному горизонту и району отбора) в фоновых пробах в 45 случаях (из 50) от 1,1 до 206 раз в верхнем гори-

зонте (5–10 см) (рис. 3) и от 1,2 до 71 раз в нижнем (10–20 см) (рис. 4). Превышения ПДК (160 мг/кг) отмечены для одной фоновой пробы (290 мг/кг) и для шести антропогенно-измененных (168–515 мг/кг).



**Рис. 3.** Распределение относительного содержания сульфатов в верхнем почвенном горизонте. Условные обозначения: Числами обозначены номера скважин. По вертикальной и горизонтальной шкалам показаны географическая широта и долгота, соответственно. В легенде указано превышение относительно фонового значения в районе той же скважины и соответствующего почвенного горизонта

**Fig. 3.** Distribution of the relative content of sulfates in the upper soil horizon. Legend: Numbers indicate well numbers. The vertical and horizontal scales show latitude and longitude, respectively. The legend indicates the excess relative to the background value in the area of the same well and the corresponding soil horizon



**Рис. 4.** Распределение относительного содержания сульфатов в нижнем почвенном горизонте. Условные обозначения: Числами обозначены номера скважин. По вертикальной и горизонтальной шкалам показаны географическая широта и долгота, соответственно. В легенде указано превышение относительно фонового значения в районе той же скважины и соответствующего почвенного горизонта

**Fig. 4.** Distribution of the relative content of sulfates in the lower soil horizon. Legend: Numbers indicate well numbers. The vertical and horizontal scales show latitude and longitude, respectively. The legend indicates the excess relative to the background value in the area of the same well and the corresponding soil horizon

Содержание хлорид-ионов как достаточно подвижных соединений невелико. Но в отличие от сульфат-ионов разница между фоновыми и антропогенно-измененными наблюдается в обратную сторону: для фоновых (для верхнего горизонта  $S(Cl)_{cp}=21$  мг/кг, для нижнего – 9,4 мг/кг) и в районе бурения скважины (для обоих горизонтов  $S(Cl)_{cp}<5$  мг/кг). Эта тенденция отмечена для большинства исследованных объектов (45 из 50).

Для аммония в обменной форме содержания в основном находятся ниже предела обнаружения метода ( $<5$  мг/кг). Только результаты анализа 11 проб фоновых почв находятся выше этой границы: 5,3...20,0 мг/кг, и для трёх проб с территорий рядом со скважинами: 5–17 мг/кг. Так как разница между значениями обменного аммония с фоновых и «загрязнённых» территорий незначительна, его содержание больше определяется естественными процессами.

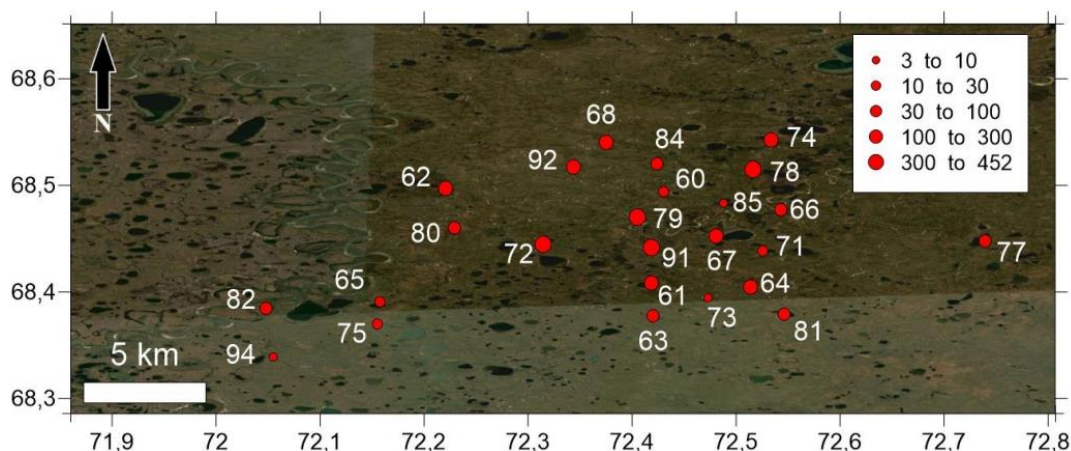
Содержание другой формы азота, нитрат-иона, в основном находится ниже предела обнаружения метода ( $<5$  мг/кг). Для одной пробы фоновой почвы полученные данные находятся выше этой границы: 34 мг/кг.

Для фосфат-ионов содержания в основном находятся ниже предела обнаружения метода ( $<5$  мг/кг). Только результаты анализа 3 проб фоновых почв находятся выше этой границы: 13, 25 и 40 мг/кг, и для одной пробы с территорий рядом со скважинами: 5 мг/кг.

#### Содержание органических веществ

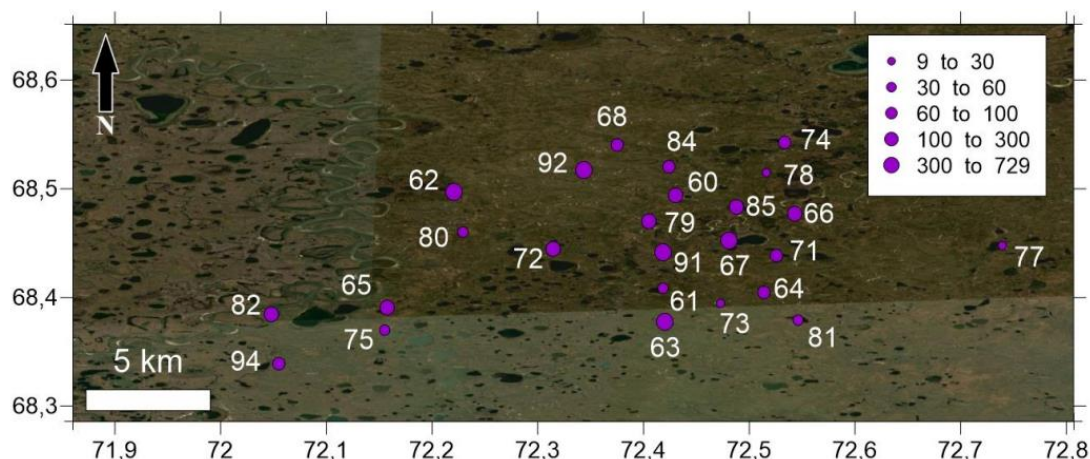
Исследуемый район был подвержен воздействию объектов нефтегазового комплекса, поэтому одним из важных определяемых показателей являются нефте-

продукты. Нефтяное загрязнение относится к числу довольно опасных, поскольку оно существенно изменяет свойства почв. Среднее содержание нефтепродуктов в фоновых пробах исследуемых почв варьировало от  $<5$  до 125,0 мг/кг. Среднее значение данного показателя составило 24 мг/кг для верхнего горизонта и 12 мг/кг для нижнего. Концентрация нефтепродуктов в зоне, подвергшейся техногенному воздействию, существенно выше: (для верхнего горизонта  $C_{cp}=945$  мг/кг, для нижнего – 1086 мг/кг). Содержание в антропогенно-измененных почвах превышает соответствующее (по почвенному горизонту и району отбора) в фоновых пробах во всех без исключения случаях от 3,6 до 451 раз в верхнем горизонте (5–10 см) (рис. 5) и от 10 до 728 раз в нижнем (10–20 см) (рис. 6).



**Рис. 5.** Распределение относительного содержания нефтепродуктов в верхнем почвенном горизонте. Условные обозначения: Числами обозначены номера скважин. По вертикальной и горизонтальной шкалам показаны географическая широта и долгота, соответственно. В легенде указано превышение относительно фоновых значений в районе той же скважины и соответствующего почвенного горизонта

**Fig. 5.** Distribution of the relative content of oil products in the upper soil horizon. Legend: Numbers indicate well numbers. The vertical and horizontal scales show latitude and longitude, respectively. The legend indicates the excess relative to the background value in the area of the same well and the corresponding soil horizon



**Рис. 6.** Распределение относительного содержания нефтепродуктов в нижнем почвенном горизонте. Условные обозначения: Числами обозначены номера скважин. По вертикальной и горизонтальной шкалам показаны географическая широта и долгота, соответственно. В легенде указано превышение относительно фоновых значений в районе той же скважины и соответствующего почвенного горизонта

**Fig. 6.** Distribution of the relative content of oil products in the lower soil horizon. Legend: Numbers indicate well numbers. The vertical and horizontal scales show latitude and longitude, respectively. The legend indicates the excess relative to the background value in the area of the same well and the corresponding soil horizon



Фенолы в почве могут быть как естественного происхождения в качестве продуктов жизнедеятельности растений, животных и микроорганизмов, так и попавшие антропогенным путем. В данном случае при анализе данных установлено, что содержание в антропогенно-измененных почвах превышает соответствующее (по почвенному горизонту и району отбора) в фоновых пробах в 23 (из 25) случаях от 1,1 до 52 раз в верхнем горизонте (5–10 см) и в 20 (из 25) от 1,1 до 56 раз в нижнем (10–20 см). Такие устойчивые закономерности свидетельствуют о том, что присутствие части фенолов вызвано прошедшим техногенным воздействием.

К группе АПАВ относятся соединения, которые, растворяясь в воде, образуют адсорбционно активные анионы и адсорбционно неактивные катионы. Содержания АПАВ в почвенных пробах примерно одинаковы для условно фоновых (для верхнего горизонта  $C(\text{АПАВ})_{\text{cp}}=1,3$  мг/кг, для нижнего – 1,4 мг/кг) и подвергшихся техногенному воздействию (для верхнего горизонта  $C(\text{АПАВ})_{\text{cp}}=1,5$  мг/кг, для нижнего – 1,2 мг/кг). И эти величины существенно меньше литературных данных ( $C(\text{АПАВ})_{\text{cp}}=30$  мг/кг) по исследованию почв в районе площадок бурения [19].

#### Микроэлементный состав почвенных проб

Концентрации тяжелых металлов (кадмий, марганец, медь, никель, ртуть, хром) во всех исследованных пробах находятся ниже ПДК (или ОДК). Для кадмия и ртути содержания на антропогенно-измененной и на фоновой территориях практически не отличаются. Но тем не менее наибольшие содер-

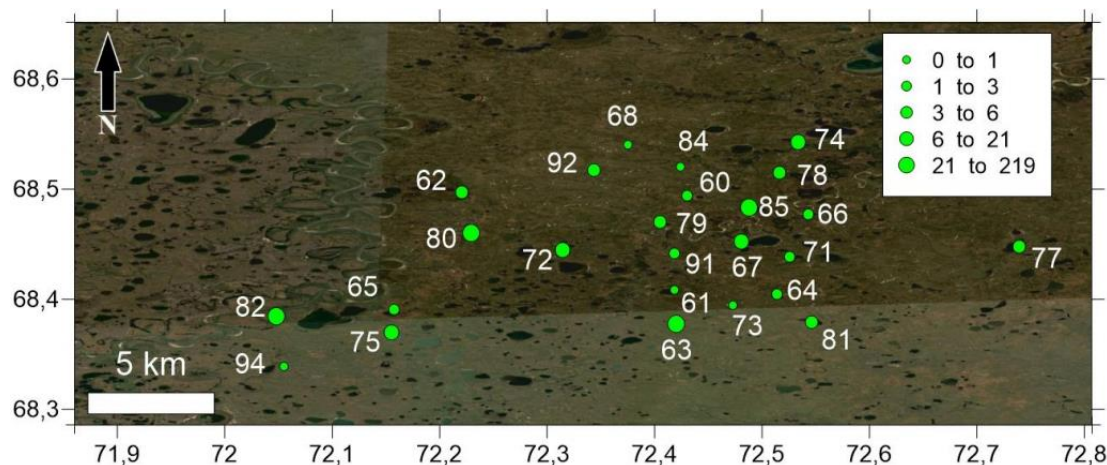
жания ртути относятся к антропогенно- измененным пробам (67/1 и 68/2).

Для остальных элементов наблюдаются достоверные превышения концентраций с зоны, подвергшейся техногенному воздействию, над фоновой, что говорит об их техногенном источнике.

При анализе данных установлено, что содержание меди в антропогенно-измененных почвах превышает соответствующее (по почвенному горизонту и району отбора) в фоновых пробах в 21 (из 25) случае от 1,2 до 16,8 раз в верхнем горизонте (5–10 см) и в 21 (из 25) от 1,7 до 12 раз в нижнем (10–20 см). Это свидетельствует о том, что повышенное содержание меди вызвано прошедшим техногенным воздействием.

Высокое содержание бария в пробах антропогенно-измененных почв вместе с уже рассмотренным повышенным содержанием сульфатов указывает на загрязнение сульфатом бария, используемым в качестве компонента в буровых растворах. Также это подтверждается совпадением распределений относительного превышения содержания бария в верхнем (рис. 7) и нижнем (рис. 8) почвенных горизонтах и соответствующих распределений сульфат-ионов (рис. 3, 4).

При анализе данных установлено, что содержание никеля в антропогенно-измененных почвах превышает соответствующее (по почвенному горизонту и району отбора) в фоновых пробах в 17 (из 25) случаях от 1,5 до 23,2 раз в верхнем горизонте (5–10 см) и в 21 (из 25) от 1,4 до 27,6 раз в нижнем (10–20 см). Это свидетельствует о том, что повышенное содержание никеля вызвано прошедшим техногенным воздействием.



**Рис. 7.** Распределение относительного содержания бария в верхнем почвенном горизонте. Условные обозначения: Числами обозначены номера скважин. По вертикальной и горизонтальной шкалам показаны географическая широта и долгота, соответственно. В легенде указано превышение относительно фонового значения в районе той же скважины и соответствующего почвенного горизонта

**Fig. 7.** Distribution of the relative content of barium in the upper soil horizon. Legend: Numbers indicate well numbers. The vertical and horizontal scales show latitude and longitude, respectively. The legend indicates the excess relative to the background value in the area of the same well and the corresponding soil horizon

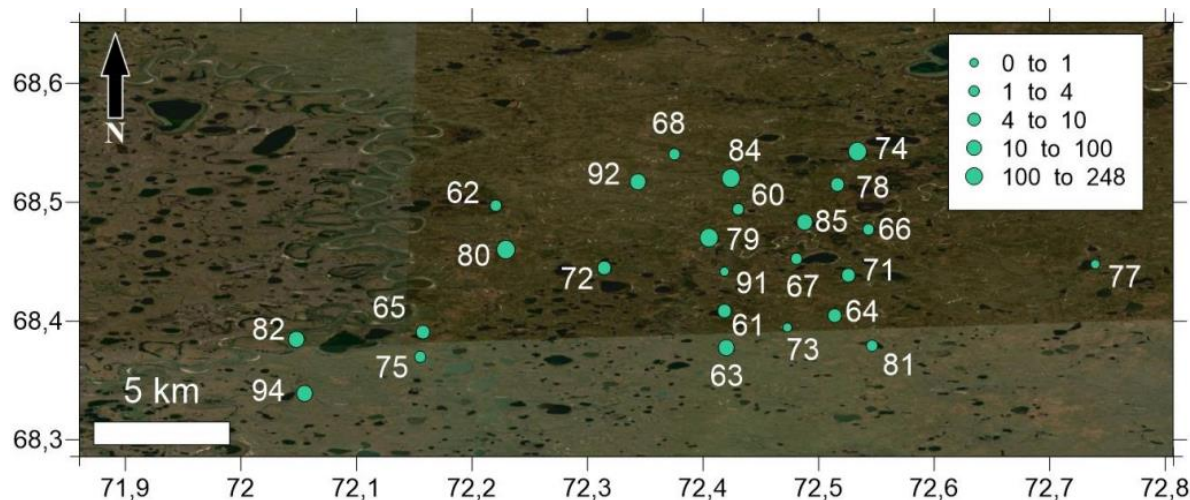
Для сорока проб (из 103) установлены превышения содержания мышьяка над его ПДК, но при этом средние концентрации мышьяка в почвенных пробах примерно одинаковы для условно фоновых (для верхнего горизонта  $C(\text{As})_{\text{cp}}=2,1$  мг/кг, для нижнего –

1,6 мг/кг) и подвергшихся техногенному воздействию (для верхнего горизонта  $C(\text{As})_{\text{cp}}=2,2$  мг/кг, для нижнего – 2,0 мг/кг). Повышенный общий фон мышьяка в регионе подтверждается и ранее проведенными исследованиями [20].

Выявлено, что содержание марганца в антропогенно-измененных почвах превышает соответствующее (по почвенному горизонту и району отбора) в фоновых пробах в 15 (из 25) случаях от 1,2 до 28,3 раз в верхнем горизонте (5–10 см) и в 18 (из 25) от 1,1 до 32,9 раз в нижнем (10–20 см). Возможно, это вызвано прошедшим техногенным воздействием при общем высоком уровне содержания марганца в почвах в регионе.

Локальные превышения (2 из 103) содержаний свинца над ПДК при общем невысоком фоне могут указывать на присутствие остатков свинцовосодержащих устройств.

При анализе данных установлено, что содержание цинка в антропогенно-измененных почвах превышает соответствующее (по почвенному горизонту и району отбора) в фоновых пробах в 19 (из 25) случаях от 1,1 до 70 раз в верхнем горизонте (5–10 см) и в 22 (из 25) от 1,1 до 14 раз в нижнем (10–20 см). Такие устойчивые закономерности свидетельствуют о том, что повышенное содержание цинка вызвано прошедшим техногенным воздействием. И в 37 пробах (из 53) с территории, подвергшейся антропогенному воздействию, и для 11 фоновых проб содержание цинка превышает ПДК.



**Рис. 8.** Распределение относительного содержания бария в нижнем почвенном горизонте. Условные обозначения: Числами обозначены номера скважин. По вертикальной и горизонтальной шкалам показаны географическая широта и долгота, соответственно. В легенде указано превышение относительно фонового значения в районе той же скважины и соответствующего почвенного горизонта

**Fig. 8.** Distribution of the relative content of barium in the lower soil horizon. Legend: Numbers indicate well numbers. The vertical and horizontal scales show latitude and longitude, respectively. The legend indicates the excess relative to the background value in the area of the same well and the corresponding soil horizon

#### Химическое загрязнение почв на исследованном участке

Рассчитанные величины  $Z_c$  позволили оценить категории загрязнения почв по справочной шкале (табл. 1).

Во всех образцах почв концентрации нефтепродуктов (НП) существенно превышают фоновые (только в 3 пробах – коэффициенты концентрации ( $K_c$ ) для НП равны 4–8), в остальных образцах  $K_c=10$ –728. Высоки  $K_c$  по фенолам ( $K_c=2$ –56), АПАВ ( $K_c=2$ –21), сульфат-ионам ( $K_c=2$ –206). Среди металлов наиболее высоки  $K_c$  по барии, никелю, свинцу и хрому.

По суммарному показателю  $Z_c$  четырнадцать образцов можно отнести к категории опасных (в районе скважин 60, 61, 65, 66, 68, 73, 75, 77, 78, 80, 81, 85, преимущественно в верхнем горизонте 5–10 см), один образец (94/1<sub>ps</sub>) – к умеренно опасным, остальные 35 проб можно назвать по вышеуказанной градации «чрезвычайно опасными». При этом основной вклад в суммарный  $Z_c$ , рассчитанный по всем показателям, вносят нефтепродукты.

Дополнительно были рассчитаны коэффициенты концентрации и суммарные показатели загрязнения

только по металлам. Суммарный показатель загрязнения в опасных, умеренно опасных и чрезвычайно опасных пробах складывается из коэффициентов концентрирования по 6–9 показателям, то есть почти по всем установленным металлам и мышьяку. Зачастую около одной и той же скважины пробы из верхнего и нижнего почвенных горизонтов относятся к разным категориям. В итоге к категории «допустимых» относятся уровни загрязнения в 11 почвенных образцах (8 скважин), умеренно опасных – в 11 пробах (9 скважин), опасных – 20 (17 скважин), чрезвычайно опасных – в 8 пробах (8 скважин). Самые высокие коэффициенты концентрации, которые определили «чрезвычайно опасную» категорию почв, характерны для бария ( $K_c$  до 248), свинца ( $K_c$  до 75) и хрома ( $K_c$  до 44).

Закономерность распределения геохимических показателей в почве и характер влияния на них антропогенного загрязнения

В рамках данной работы изучался характер распределения геохимических показателей в пробах почв верхнего (глубина 0–10 см) и нижнего (глубина 10–20 см) горизонтов. Рассчитывалось среднее содержание в верх-

нем ( $C_{\text{сред}}^{\text{ВГ}}$ ) и нижнем ( $C_{\text{сред}}^{\text{НГ}}$ ) слоях. Разброс значений оценивался по среднеквадратичному отклонению (СКО). Взаимосвязь геохимических распределений на разных уровнях в фоновых и загрязненных пробах оценивалась на основе коэффициентов парной корреляции по каждому показателю. При расчете коэффициентов корреляции по некоторым показателям исключались экстремально высокие (ураганные) значения в отдельных точках. Сопоставление статистических показателей позволило выявить влияние антропогенного загрязнения на закономерности геохимических распределений. Из рассмотрения были исключены распределения массовой доли фосфатов, нитратов, ртути и кадмия, т. к. их значения в основном ниже предела обнаружения методик измерения.

Распределение геохимических показателей в фоновых пробах

По ряду показателей наблюдается заметная корреляционная зависимость (коэффициенты корреляции 0,2...0,3) значений в нижнем и верхнем горизонте (табл. 2). Это аммоний, сульфаты, хлориды, некоторые металлы (полуметаллы), нефтепродукты, АПАВ и рН.

Указанные показатели, за исключением рН, характеризуются большим разбросом значений и высоким уровнем среднего содержания в верхнем горизонте за счет наличия в отдельных точках ураганных величин массовой доли. Наиболее сильно это проявляется в распределениях аммония, сульфатов, хлоридов и

нефтепродуктов. Вошедшие в эту группу показателей металлы – барий, марганец и мышьяк – характеризуются относительно стабильным распределением.

В целом можно отметить, что заметной корреляционной связью характеризуются показатели с высоким содержанием в почве, уверенно фиксируемые при измерениях. При этом разброс значений массовой доли в верхнем горизонте значительно выше, чем в нижнем.

Показатели с низким содержанием в почве (медь, никель, свинец, хром VI, цинк и фенолы) отличаются хаотичными, случайными распределениями и, как следствие, отсутствием корреляции между значениями в верхнем и нижнем горизонтах (значения  $K_{\text{корр}}$ ). Средние содержания ( $C_{\text{сред}}^{\text{ВГ}}$ ,  $C_{\text{сред}}^{\text{НГ}}$ ) и СКО  $\text{СКО}^{\text{ВГ}}$   $\text{СКО}^{\text{НГ}}$  в верхнем и нижнем горизонте практически на одном уровне.

Резюмируя, можно отметить довольно существенные различия между значениями геохимических показателей разных горизонтов в фоновых точках отбора. Заметная корреляция наблюдается по показателям с относительно высоким содержанием в почве. Характер их распределения таков, что в верхнем горизонте в отдельных точках отмечаются ураганные значения концентраций. Если исключить их из рассмотрения, то по гистограммам (рис. 9) можно увидеть, что уровень значений всех показателей в обоих горизонтах примерно одинаков.

Таблица 2. Статистические показатели по загрязненным и фоновым пробам

Table 2. Statistical indicators for contaminated and background samples

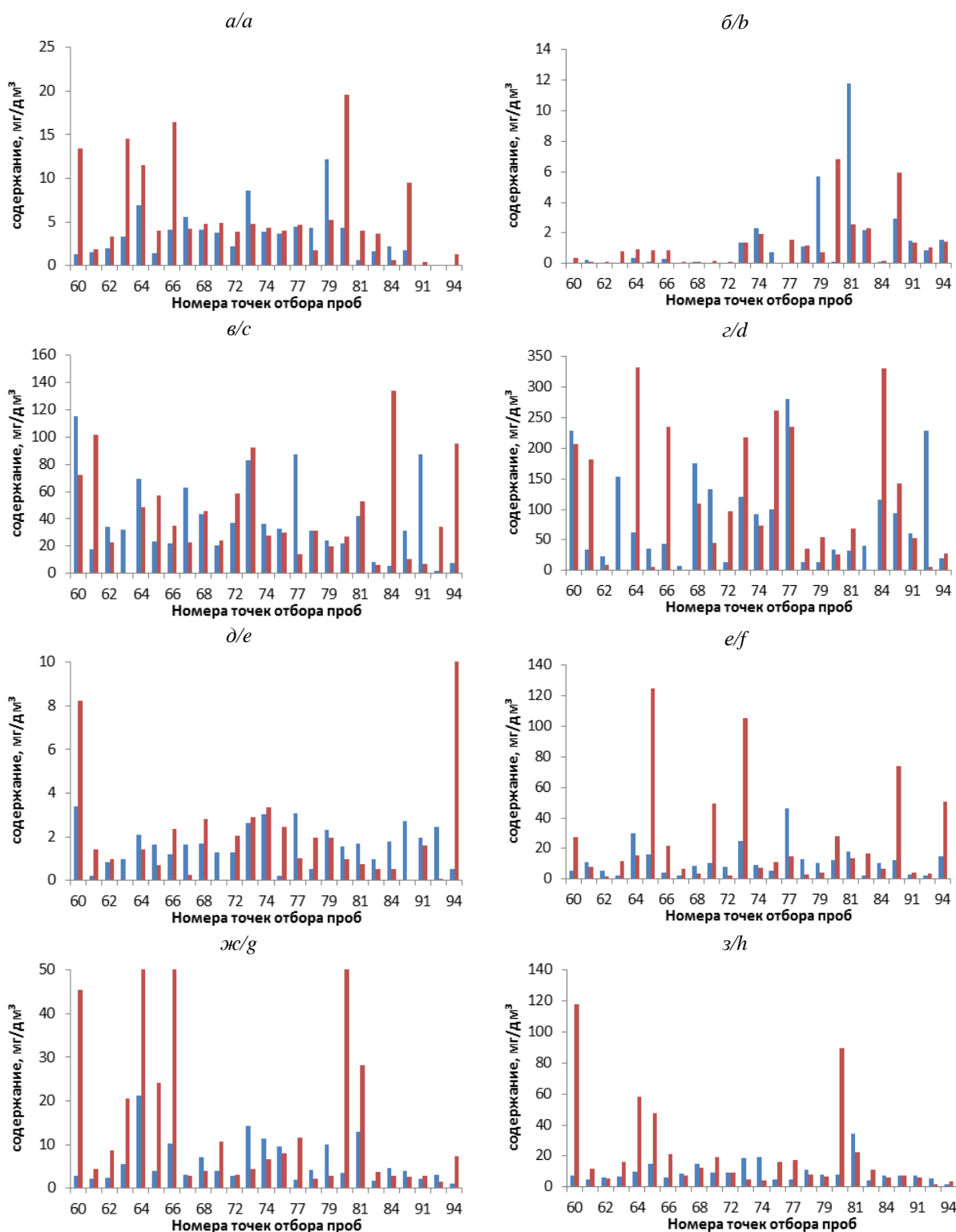
Показатель Mark	Фоновые пробы Background samples					Загрязненные пробы Contaminated samples				
	$K_{\text{корр}}$ $K_{\text{corr}}$	$C_{\text{сред}}^{\text{ВГ}}$ $C_{\text{aver}}^{\text{UL}}$	$C_{\text{сред}}^{\text{НГ}}$ $C_{\text{aver}}^{\text{LL}}$	$\text{СКО}^{\text{ВГ}}$ $\text{STD}^{\text{UL}}$	$\text{СКО}^{\text{НГ}}$ $\text{STD}^{\text{LL}}$	$K_{\text{корр}}$ $K_{\text{corr}}$	$C_{\text{сред}}^{\text{ВГ}}$ $C_{\text{aver}}^{\text{UL}}$	$C_{\text{сред}}^{\text{НГ}}$ $C_{\text{aver}}^{\text{LL}}$	$\text{СКО}^{\text{ВГ}}$ $\text{STD}^{\text{UL}}$	$\text{СКО}^{\text{НГ}}$ $\text{STD}^{\text{LL}}$
рН	0,26	5,6	5,8	0,6	0,5	0,23	6,8	6,8	0,8	0,9
АПАВ Anionic surfactants	0,26	1,3	1,3	1,7	2,5	0,52	1,1	1,1	0,8	1,2
Нефтепродукты Oil products	0,19	25	11,6	33	10	0,03	950	1090	580	670
Аммоний/Ammonium	0,23	5,9	3,4	5,2	2,8	0,68	0,4	0,8	1,5	3,4
Сульфат-ион Sulfate ion	0,23	28	6	61	5	0,64	67	61	104	59
Хлорид-ион Chloride ion	0,19	21	9,6	28	6,7	0,55	4,9	4	4,2	1,8
Барий/Barium	0,2	43	39	34	29	0,24	200	740	240	1390
Марганец/Manganese	0,3	110	86	108	77	0,29	130	130	87	89
Мышьяк/Arsenic	0,36	2,1	1,7	3,1	0,9	0,53	2,3	1,9	2,2	1,6
Медь/Copper	0,04	0,7	0,8	0,5	0,6	0,34	2,6	2	2,3	1,4
Никель/Nickel	-0,18	0,4	0,7	0,8	1,2	0,33	2,4	2,9	2	1,8
Свинец/Lead	0,07	0,5	0,6	0,5	0,4	0,02	6,9	2,5	18	3,8
Хром/Chromium	0,1	2,6	2,7	3,2	3	0,78	6,7	6,9	4,2	3,8
Цинк/Zinc	0,14	15,1	16,2	11,5	10,8	0,47	43	32	43	15
Фенолы/Phenols	-0,06	0,3	0,4	0,4	0,4	-0,01	0,9	0,9	0,4	0,4

Распределение геохимических показателей в загрязненных пробах

В первую очередь следует отметить сходимость между распределениями значений отдельных показателей в верхнем и нижнем горизонтах, что наглядно демонстрируется на графиках (рис. 10) и в значениях коэффициентов корреляции (табл. 2). Это справедливо как для тех веществ, содержания которых выросли

многократно (например, металлы в 2–10 раз, сульфат-ион), так и для тех, среднее содержание которых не изменилось (АПАВ и мышьяк) либо значительно снизилось (аммоний-ион, хлориды). Практически не изменились содержание марганца и уровень рН, а также их корреляции между распределениями в верхнем и нижнем горизонтах.





**Рис. 9.** Распределение геохимических показателей в фоновых пробах верхнего (красный цвет) и нижнего (синий цвет) горизонтов: а) аммоний, б) АПАВ, в) барий, г) марганец, д) мышьяк, е) нефтепродукты, ж) сульфат-ион, з) хлорид-ион

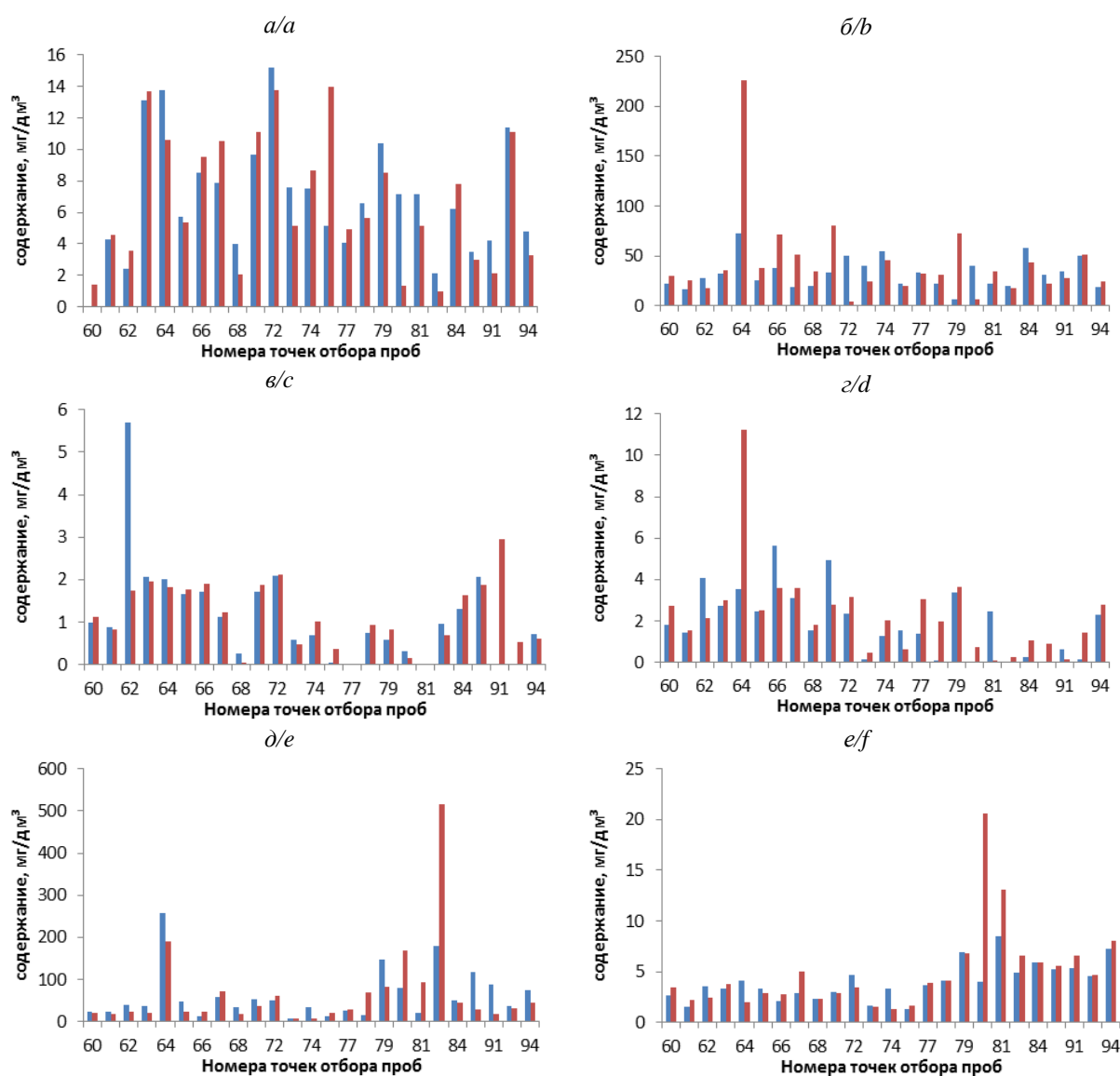
**Fig. 9.** Distribution of geochemical indicators in the background samples of the upper (red) and lower (blue) horizons: а) ammonium, б) anionic surfactant, в) barium, г) manganese, д) arsenic, ф) oil products, г) sulfate ion, з) chloride ion

В загрязненных пробах в 100 раз увеличилось содержание нефтепродуктов. Содержание в верхнем и нижнем горизонте примерно одинаково, но распределения не коррелируют между собой. Нефтепродукты являются основным фактором загрязнения, что отра-

жается в многократном росте среднего уровня их концентраций. Колебания содержания нефтепродуктов относительно этого уровня в зависимости от локальных условий их ассимиляции могут носить случайный характер, что отражается в отсутствии корреляции.

В 5 раз увеличивается среднее содержание бария, а в четырех пробах нижнего горизонта фиксируется увеличение в 90 раз, что, как уже упоминалось выше, связывается с загрязнением сульфатом бария. Растворимость сульфата бария крайне невелика, около  $2 \text{ мг/дм}^3$ , однако при длительном нахождении в водной или водонасыщенной среде он будет являться источником водорастворенных сульфатов пролонгированного действия, что приводит к увеличению их содержания в водных вытяжках. Относительно тяжелые ионы бария могут постепенно удаляться из приповерхностных отложений, замещаясь в растворе более легкими ионами других металлов (марганца, меди, никеля, хрома и цинка). В пробах нижнего горизонта среднее содержание бария существенно выше, чем в верхнем горизонте, тогда как для других металлов такой тенденции не выявлено.

Коэффициент корреляции между распределениями валового содержания бария и концентрацией сульфат-ионов в водной вытяжке почв верхнего горизонта составляет 0,62, в нижнем горизонте аналогичный коэффициент корреляции уже составляет 0,16. Примечательно также, что отмечается заметная корреляционная связь между валовым содержанием бария в верхнем горизонте и концентрацией сульфатов в нижнем (коэффициент корреляции 0,26), тогда как обратной связи не наблюдается (коэффициент корреляции между содержанием бария в нижнем горизонте и концентрацией сульфат-ионов в верхнем составляет 0,05). В фоновых пробах заметных корреляционных связей между содержаниями бария и сульфат-ионов не наблюдается (коэффициенты корреляции между распределениями в разных горизонтах составляют – 0,07; 0,03; 0,07; 0,2).



**Рис. 10.** Распределение геохимических показателей в загрязненных пробах верхнего (красный цвет) и нижнего (синий цвет) горизонтов: а) хром, б) цинк, в) АПАВ, г) мышьяк, д) сульфат-ион, е) хлорид-ион

**Fig. 10.** Distribution of geochemical indicators in contaminated samples of the upper (red) and lower (blue) horizons: а) chromium, б) zinc, в) anionic surfactants, г) arsenic, е) sulfate ion, ф) chloride ion

Все вышеперечисленное говорит о поверхностном источнике как бария, так и большей части сульфатов водной вытяжки.

Поступление ионов металлов за счет коррозии металлических конструкций приводит к восстановлению ионов водорода и, как следствие, увеличению рН. Это в свою очередь способствует образованию слаборастворимых солей, например, хлоридов и сульфатов свинца и хрома. Если основным источником сульфатов является антропогенное загрязнение, то хлориды не успевают восполняться естественным образом и их содержание падает.

Снижение содержания обменного аммония в загрязненных пробах может быть связано с замещением атомов водорода на органические радикалы и образованием соединений одно-, двух- (и т. д.) замещенного аммония.

### Заключение

Почвенные пробы, отобранные с территории, ранее подвергшейся техногенному воздействию, содержат ряд последствий этого воздействия, что отражается при их сравнении с составом соответствующих почвенных проб, выбранных в качестве фона. Исходя из полученных данных, можно отметить, что почвы загрязнены нефтепродуктами, сульфатами, барием, цинком и фенолами. Но при этом многочисленные превышения ПДК (при наличии соответствующего параметра в нормативных документах) установлены только для цинка и мышьяка, причем для обоих элементов высокие концентрации отмечены и в фоновых пробах, что можно считать особенностью региона.

Важно отметить, что с момента проведения бурения и до момента проведения экологической съемки прошло в среднем около 30 (тридцати!) лет. Даже за такой длительный период природа не успела восстановиться на относительно небольших по площади точечных загрязнениях. Это отличительная особенность именно северных территорий, где загрязнение большую часть времени законсервировано низкими температурами.

По суммарному показателю загрязнения четырнадцать почвенных образцов относятся к категории опасных (в районе скважин 60, 61, 65, 66, 68, 73, 75, 77, 78, 80, 81, 85, преимущественно в верхнем горизонте 5–10 см), один образец (верхний горизонт в районе скв. 94) – к умеренно опасным, остальные 35 проб (в районе всех исследованных скважин кроме 75 и 77) можно назвать по вышеуказанной градации

«чрезвычайно опасными». Основной вклад в суммарный показатель загрязнения вносят нефтепродукты.

По суммарному показателю загрязнения, рассчитанному только по коэффициентам концентрации металлов, выявлено многокомпонентное загрязнение почвенного покрова (преимущественно соединениями бария, свинца и хрома). Умеренно опасными считаются 11 проб (скважины №№ 78 и 81, верхние горизонты у скв. 62, 66, 75, 79, нижний горизонт возле скв. 61, 65, 85), опасными – 20 проб (скважины №№ 64, 71, 72, верхние горизонты у скв. 65, 77, 80, 84, 85, нижний горизонт возле скв. 62, 63, 66, 67, 73, 75, 82, 92, 94) и чрезвычайно опасными – 8 проб (верхние горизонты у скв. 63, 67, 82, 92, нижний горизонт возле скв. 74, 79, 80, 84).

При сопоставлении значений показателей в верхнем и нижнем горизонтах фоновых проб отмечается довольно сильные различия, видимо, в силу естественных процессов аккумуляции под действием геохимических барьеров. Однако **при антропогенном загрязнении территории** действие этих процессов нивелируется и между распределениями в верхнем и нижнем горизонтах **устанавливается сильная корреляционная связь** практически для всех показателей. Это справедливо как для показателей, показавших многократное увеличение (прямое загрязнение, распространившееся на определенную глубину), так и для показателей, значения которых почти не изменились либо сильно снизились (косвенное влияние, обусловленное антропогенными факторами, отвечающими за перераспределение химических элементов и их соединений по глубине). Следовательно, антропогенное загрязнение приводит к длительному по времени устранению неоднородностей естественного геохимического поля по глубине за счет:

- 1) прямого увеличения содержания того или иного загрязнителя и как следствие относительного снижения естественных неоднородностей этого вещества;
- 2) формирования определенной физико-химической обстановки, однородной в пределах некоторой глубины, в которой происходит вторичное перераспределение показателей, не являющихся загрязнителями.

*Исследование выполнено по программе ФНИ (проект № 0266-2019-0008).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Emmerson C., Lahn G. Arctic opening: opportunity and risk in the high north. – London: Lloyd's, 2012. – 60 p.
2. Lindholt L. Arctic natural resources in a global perspective // The economy of the North. – Oslo: Statistics Norway, 2006. – P. 27–28.
3. Sherlock R.L., Scott D.J., MacKay G. Bringing sustainability to the people of Nunavut // Geotimes. – 2003. – V. 48. – № 12. – P. 18–21.
4. Mining in the Arctic environment – a review from ecological, socioeconomic and legal perspectives / A. Tolvanen, P. Eilu, A. Juutinen, K. Kangas, M. Kivinen, M. Markovaara-Koivisto, A. Naskalie, V. Salokannelf, S. Tuulentiee, J. Simila // Journal of environmental management. – 2019. – V. 233. – P. 832–844.
5. Брехунцов А.М., Петров Ю.В., Прыкова О.А. Экологические аспекты освоения природно-ресурсного потенциала россий-

ской Арктики // Арктика: экология и экономика. – 2020. – № 3. – С. 34–47.

6. Facies analysis of yedoma thermokarst lakes on the northern Seward Peninsula, Alaska / L. Farquharson, K.W. Anthony, N. Bigelow, M. Edwards, G. Grosse // Sedimentary Geology. – 2016. – V. 340. – P. 25–37.
7. Evidence of the impacts of metal mining and the effectiveness of mining mitigation measures on social-ecological systems in Arctic and boreal regions: a systematic map protocol / N.R. Haddaway, S.J. Cooke, P. Lesser, B. Macura, A.E. Nilsson, J.J. Taylor, K. Raito // Environmental Evidence. – 2019. – V. 8. – № 1. – P. 1–11.
8. Алекин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
9. Kirby C.S., Cravotta III C.A. Net alkalinity and net acidity 1: theoretical considerations // Applied Geochemistry. – 2005. – V. 20. – № 10. – P. 1920–1940.



10. Южанина А.А., Кремлева Т.А. Влияние генезиса малых рек Надымского района на химический состав вод и экологическое состояние // Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах: материалы III Международной школы-семинара молодых исследователей. – Тюмень, 23–28 апреля 2018. – С. 206–212.
11. Геохимические закономерности распространения элементов в водах озер арктических регионов / Т.И. Моисеенко, М.И. Дину, Н.А. Гашкина, Т.А. Кремлева, В.Ю. Хорошавин // Геохимия. – 2020. – Т. 65. – № 6. – С. 521–532.
12. Neutral mine drainage / С.М. Pettit, J.M. Scharer, D.B. Chambers, В.Е. Halbert, J.L. Kirkaldy, L. Bolduc // Proc.s of Mining and the Environment. – Sudbury, Canada, 1999. – P. 829–838.
13. ПНД Ф 16.1.8-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов нитрита, нитрата, хлорида, фторида, сульфата и фосфата в пробах почв (водорастворимая форма) методом ионной хроматографии. – М.: Изд-во «АналитИнвест», 1998. – 25 с.
14. ПНД Ф 16.1:2.21-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости «Флюорат-02». – М.: Изд-во «Люмекс», 1998. – 22 с.
15. ПНД Ф 16.1.2.3:3.44-05. Методика выполнения измерений массовой доли летучих фенолов в пробах почв, осадках сточных вод и отходов фотометрическим методом после отгонки с водяным паром. – М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2005. – 17 с.
16. ПНД Ф 16.1:2.2:3.66-10. Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовой доли анионных поверхностно-активных веществ в пробах почв, грунтов, донных отложений, илов, отходов производства и потребления экстракционно-фотометрическим методом. – М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2010. – 20 с.
17. МУ 2.1.7.730-99. Методические указания. 2.1.7. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. – М.: Радон, 1999. – 20 с.
18. Экологическая оценка состояния почвенного покрова оленных пастбищ полуострова Ямал / Л.Н. Скипин, А.А. Галямов, Е.В. Гаевая, Е.В. Захарова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2016. – № 12. – С. 194–202.
19. Кукушкин С.Ю., Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю. Оценка загрязнения тундровых почв на участках поисково-оценочного бурения (Ямало-Ненецкий автономный округ) // Отходы, причины их образования и перспективы использования: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф. / сост. Л.С. Новопольцева; под ред. И.С. Белюченко. – Краснодар: КубГАУ, 2019 – С. 325–328.
20. Оценка экотоксикологического состояния почв Полярного Урала и Южного Ямала / И.И. Алексеев, Н.В. Динкелакер, А.А. Орипова, Г.А. Семьина, А.А. Морозов, Е.В. Абакумов // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96. – № 10. – С. 941–945.

Поступила 01.12.2021 г.

#### Информация об авторах

**Тимшанов Р.И.**, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией физико-химических методов исследований Западно-Сибирского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН.

**Колесников Р.А.**, кандидат географических наук, заведующий научно-исследовательским сектором охраны окружающей среды ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики».

**Моргун Е.Н.**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, научно-исследовательский сектор охраны окружающей среды ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики».

**Еделев А.В.**, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, лаборатория эколого-экономического моделирования техногенных систем Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН.

**Юркевич Н.В.**, кандидат геолого-минералогических наук, заведующая лабораторией эколого-экономического моделирования техногенных систем Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН.

**Кулешова Т.А.**, младший научный сотрудник, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН.

UDC 504.062.4:332.142.6: 631.42

## ASSESSMENT OF THE RESIDUAL CONTAMINATION AT THE DRILLING SITES OF THE ROSTOVTSSEVSKOE FIELD

**Rustam I. Timshanov<sup>1</sup>,**  
TimshanovRI@ipgg.sbras.ru

**Roman A. Kolesnikov<sup>2</sup>,**  
roman387@mail.ru

**Evgeniya N. Morgun<sup>2</sup>,**  
morgun148@gmail.com

**Aleksey V. Edelev<sup>1</sup>,**  
EdelevAV@ipgg.sbras.ru

**Nataliya V. Yurkevich<sup>1</sup>,**  
YurkevichNV@ipgg.sbras.ru

**Tatyana A. Kuleshova<sup>1</sup>,**  
KuleshovaTA@ipgg.sbras.ru

<sup>1</sup> Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, West Siberian Branch, 3, Ac. Koptuyug avenue, Novosibirsk, 630090, Russia.

<sup>2</sup> Governmental State Institution of the Yamal-Nenets Autonomous District «Scientific Center for Arctic Studies», 20, Respubliki street, Salekhard, 629008, Russia.

**The relevance** of the research is caused by the long-term impact on environmental objects (in particular, soil) of exploration well sites drilled in the 80–90s of the 20th century on the territory of the continental part of the Russian Arctic. The persistence of pollution is primarily due to the low self-purification capacity of northern ecosystems. Assessment of the environmental hazard of contaminated soils and industrial and economic waste using the example of the Rostovtsevskoe field will allow considering the possibility of implementing measures to restore ecosystem components.

**The aim** of the work is to assess the current state of the soil cover at the Rostovtsevskoe hydrocarbon field.

**Object** of the research is the territory in the area of 25 wells of the Rostovtsevskoe hydrocarbon field (Yamal Peninsula, the Yamal-Nenets Autonomous District) drilled in the period from 1986 to 1989.

**Methods.** The set of studies included the sampling and laboratory analysis of 103 samples of background and contaminated soils from the upper (0–10 cm) and lower (10–20 cm) horizons. Particular attention was paid to the study of the anionic-cationic composition, the content of metals, oil products, phenols, anionic surfactants.

**Results.** The fact of direct soil contamination with oil products, barium sulfate, zinc, lead and other metals has been established. In addition, anthropogenic impact led to the suppression of natural inhomogeneities of the geochemical field and the formation of a homogeneous near-surface physicochemical environment. Within the soil layer, a redistribution of compounds and elements is noted, the content of which either did not change (anionic surfactants, arsenic), or significantly decreased (chloride ion, ammonium). According to the total pollution index the content of harmful substances near the 23 out of 25 researched drilling sites is characterized as extremely dangerous. The main contribution to the total pollution index is made by oil products.

### Key words:

Residual hydrocarbon pollution, ecology, anthropogenic impact, natural geochemical field, drilling sites, oil products in the soil, restoration of arctic ecosystems.

The study was carried out under the Federal Scientific Research program (project No. 0266-2019-0008).

### REFERENCES

1. Emmerson C., Lahn G. *Arctic opening: opportunity and risk in the high north*. London, Lloyd's, 2012. 60 p.
2. Lindholt L. Arctic natural resources in a global perspective. *The economy of the North*. Oslo, Statistics Norway, 2006. pp. 27–28.
3. Sherlock R.L., Scott D.J., MacKay G. Bringing sustainability to the people of Nunavut. *Geotimes*, 2003, vol. 48, no. 12, pp. 18–21.
4. Tolvanen A., Eilu P., Juutinen A., Kangas K., Kivinen M., Markovaara-Koivisto M., Naskalie A., Salokannelf V., Tuulentie S., Simila J. Mining in the Arctic environment – a review from ecological, socioeconomic and legal perspectives. *Journal of environmental management*, 2019, vol. 233, pp. 832–844.
5. Brekhuntsov A.M., Petrov Y.V., Prykova O.A. Environmental aspects of the development of the natural resource potential of the Russian Arctic. *Arctic: ecology and economics*, 2020, no. 3, pp. 34–47. In Rus.
6. Farquharson L., Anthony K.W., Bigelow N., Edwards M., Grosse G. Facies analysis of yedoma thermokarst lakes on the northern Seward Peninsula, Alaska. *Sedimentary Geology*, 2016, vol. 340, pp. 25–37.
7. Haddaway N.R., Cooke S.J., Lesser P., Macura B., Nilsson A.E., Taylor J.J., Raito K. Evidence of the impacts of metal mining and the effectiveness of mining mitigation measures on social-ecological systems in Arctic and boreal regions: a systematic map protocol. *Environmental Evidence*, 2019, vol. 8, no. 1, pp. 1–11.
8. Alekin O.A. *Osnovy gidrokhimii* [Fundamentals of hydrochemistry]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1970. 444 p.
9. Kirby C.S., Cravotta III C.A. Net alkalinity and net acidity 1: theoretical considerations. *Applied Geochemistry*, 2005, vol. 20, no. 10, pp. 1920–1940.

10. Yuzhanina A.A., Kremleva T.A. Vliyaniye genezisa malykh rek Nadym'skogo rayona na khimicheskiy sostav vod i ekologicheskoye sostoyaniye [Influence of the genesis of small rivers of the Nadym region on the chemical composition of waters and the ecological state]. *Biogekhimiya khimicheskikh elementov i soedineniy v prirodnykh sredakh. Materialy III Mezhdunarodnoy shkoly-seminara molodykh issledovateley* [Biogeochemistry of chemical elements and compounds in natural environments: materials of the III International School-Seminar for Young Researchers]. Tyumen, April 23–28, 2018. pp. 206–212.
11. Moiseenko T.I., Dinu M.I., Gashkina N.A., Kremleva T.A., Khoroshavin V.Y. Geochemical patterns of the distribution of elements in the waters of lakes in the arctic regions. *Geochemistry*, 2020, vol. 65, no. 6, pp. 521–532. In Rus.
12. Pettit C.M., Schärer J.M., Chambers D.B., Halbert B.E., Kirkaldy J.L., Bolduc L. Neutral mine drainage. *Proceedings of Mining and the Environment*. Sudbury, Canada, 1999. pp. 829–838.
13. PND F 16.1.8-98. *Kolichestvenny khimicheskiy analiz pochv. Metodika vypolneniya izmereniy massovoy kontsentratsii ionov nitrata, nitrata, khlorida, florida, sulfata i fosfata v probakh pochv (vodorastvorimaya forma) metodom ionnoy khromatografii* [PND F 16.1.8-98. Quantitative chemical analysis of soils – a technique for measuring the mass concentration of ions of nitrite, nitrate, chloride, fluoride, sulfate and phosphate in soil samples (water-soluble form) by ion chromatography]. Moscow, AnalitInvest Publ., 1998. 25 p.
14. PND F 16.1.2.21-98. *Kolichestvenny khimicheskiy analiz pochv. Metodika vypolneniya izmereniy massovoy doli nefteproduktov v probakh pochv i gruntov fluorimetricheskim metodom s ispolzovaniem analizatora zhidkosti «Fhyurat-02»* [PND F 16.1.2.21-98. Quantitative chemical analysis of soils. Technique for measuring the mass fraction of petroleum products in soil and soil samples by the fluorimetric method using the fluid analyzer «Fluorat-02»]. Moscow, Lumex Publ., 1998. 22 p.
15. PND F 16.1.2.3:3.44-05. *Metodika vypolneniya izmereniy massovoy doli letuchikh fenolov v probakh pochv, osadkakh stochnykh vod i otkhodov fotometricheskim metodom posle otgonki s vodnyam parom* [PND F 16.1.2.3:3.44-05. Method for measuring the mass fraction of volatile phenols in soil samples, sewage sludge and waste by the photometric method after distillation with water vapor]. Moscow, Federalnaya sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru Publ., 2005. 17 p.
16. PND F 16.1:2:2.2:3.66-10. *Kolichestvenny khimicheskiy analiz pochv. Metodika izmereniy massovoy doli anionnykh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv v probakh pochv, gruntov, donnykh otlozheniy, ilov, otkhodov proizvodstva i potrebleniya ekstraktsionno-fotometricheskim metodom* [PND F 16.1:2:2.2:3.66-10. Quantitative chemical analysis of soils. Methods for measuring the mass fraction of anionic surfactants in samples of soils, grounds, bottom sediments, silts, production and consumption wastes by the extraction-photometric method]. Moscow, Federalnaya sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru Publ., 2010. 20 p.
17. MU 2.1.7.730-99. *Metodicheskie ukazaniya. 2.1.7. pochva, ochistka naseleennykh mest, bytovye i promyshlennyye otkhody, sanitarnaya okhrana pochvy. Gigienicheskaya otsenka kachestva pochvy naseleennykh mest* [Methodical instructions. 2.1.7. soil, cleaning of populated areas, household and industrial wastes by the extraction-photometric method]. Moscow, Radon Publ., 1999. 20 p.
18. Skipin L.N., Galyamov A.A., Gaevaya E.V., Zakharova E.V. Ekologicheskaya otsenka sostoyaniya pochvennogo pokrova olenikh pastbishch poluostrova Yamal [Environmental assessment of the state of the soil cover of reindeer pastures on the Yamal Peninsula]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016, no. 12, pp. 194–202.
19. Kukushkin S.Y., Opekunova M.G., Opekunov A.Y. Otsenka zagryazneniya tundrovnykh pochv na uchastkakh poiskovo-otsenochnogo bureniya (Yamalo-Nenetskiy avtonomnyy okrug) [Assessment of pollution of tundra soils in areas of prospecting and appraisal drilling (Yamalo-Nenets Autonomous Okrug)]. *Otkhody, prichiny ikh obrazovaniya i perspektivy ispolzovaniya. Sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchnoy ekologicheskoy konferentsii* [Waste, reasons for their formation and prospects of use. Collection of scientific articles based on materials from International scientific ecological conference]. Ed. by I.S. Belyuchenko. Krasnodar, KubGAU Publ., 2019. pp. 325–328.
20. Alekseev I.I., Dinkelaker N.V., Oripova A.A., Semina G.A., Morozov A.A., Abakumov E.V. Assessment of the ecotoxicological state of soils in the Polar Urals and South Yamal. *Hygiene and sanitation*, 2017, vol. 96, no. 10, pp. 941–945. In Rus.

Received: 1 December 2021.

#### Information about the authors

**Rustam I. Timshanov**, Cand. Sc., head of the department, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, West Siberian Branch.

**Roman A. Kolesnikov**, Cand. Sc., head of the sector, Governmental State Institution of the Yamal-Nenets Autonomous District «Scientific Center for Arctic Studies».

**Evgeniya N. Morgun**, Cand. Sc., leading researcher, Governmental State Institution of the Yamal-Nenets Autonomous District «Scientific Center for Arctic Studies».

**Aleksey V. Edelev**, Cand. Sc., leading researcher, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS.

**Nataliya V. Yurkevich**, Cand. Sc., head of the department, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS.

**Tatyana A. Kuleshova**, junior researcher, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS.