

РАДИАЦИОННАЯ СИТУАЦИЯ РАЙОНА РАСПОЛОЖЕНИЯ ПЛАВУЧЕЙ АТОМНОЙ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ «АКАДЕМИК ЛОМОНОСОВ» В НАЧАЛЬНЫЙ ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ

А. А. Екидин, Е. И. Назаров, К. Л. Антонов

ФГБУН Институт промышленной экологии Уральского отделения РАН (Екатеринбург, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 2 марта 2023 г.

Для цитирования

Екидин А. А., Назаров Е. И., Антонов К. Л. Радиационная ситуация района расположения плавучей атомной теплоэлектростанции «Академик Ломоносов» в начальный период эксплуатации // Арктика: экология и экономика. — 2023. — Т. 13, № 4. — С. 559—569. — DOI: 10.25283/2223-4594-2023-4-559-569.

Рассматриваются проблемы энергообеспечения удаленных малонаселенных арктических регионов России путем строительства атомных электростанций малой мощности. Эффективность такого подхода демонстрируется успешным вводом в эксплуатацию в 2019 г. уникального плавучего энергоблока в городе Певек (ПАТЭС «Академик Ломоносов»). В то же время эксплуатация таких объектов вызывает вопросы у местного населения о возможном радиоактивном загрязнении территории. Отсутствие негативного влияния ПАТЭС может быть подтверждено путем сравнения радиационных характеристик до и после ввода в эксплуатацию, а также прямыми измерениями радионуклидного состава почвы и грунта в зоне возможного воздействия. Для поиска изменений радиологической ситуации в 2021 г. проведены скрининговые исследования в районе размещения станции. Анализ данных мониторинга радиоактивных выпадений и мощности дозы в Певеке показал, что внешнее облучение от поверхности грунтов и почвы обусловлено только естественными радионуклидами цепочек распада урана, тория и ^{40}K . Искусственные радионуклиды, характерные для выбросов АЭС, на обследованных участках не обнаружены. Диапазон значений и максимальные уровни мощности дозы до и после ввода в эксплуатацию ПАТЭС не отличаются друг от друга и совпадают с результатами выполненной скрининговой оценки радиационной ситуации. Полученные данные обсуждались с жителями Певека. Результаты исследования позволяют информировать общественность об отсутствии изменения радиационной обстановки в районе размещения ПАТЭС в первые годы эксплуатации.

Ключевые слова: российская Арктика, Певек, плавучая атомная электростанция, радиационная обстановка, информирование населения, мониторинг, радионуклиды, мощность дозы, гамма-спектрометрия.

Введение

Освоение регионов, богатых полезными ископаемыми, но удаленных от централизованного энергообеспечения и характеризующихся малой плотностью населения, требует развития и увеличения мощностей региональных изолированных энергосистем.

Для территории Чаун-Билибинского промышленного кластера, расположенного в Чукотском автономном округе, характерны дефицит солнечного света и преобладание ветров разрушительной силы, что делает невозможным стабильное энергообеспечение за счет возобновляемых источников (солнечных, ветровых или приливных установок) [1]. Угольные теплоэлектростанции оказывают существенное не-

гативное воздействие на окружающую среду от сжигания и хранения органического топлива, от образования золы и шлака. Кроме того, доставка большого объема угля, гарантирующего надежное снабжение потребителей теплом и электроэнергией, сопряжена со значительными затратами на инфраструктуру и логистику. Минимальное воздействие на природные ландшафты Арктической зоны при стабильном энергоснабжении способна обеспечить только атомная электростанция [2]. Для обширных территорий с низкой плотностью населения строительство энергоблоков большой мощности нецелесообразно. В таких условиях малая атомная энергетика может и должна стать основой создания децентрализованных систем энергообеспечения [1; 3].

В то же время интенсивное промышленное освоение арктических территорий, реализация проектов по разведке и добыче полезных ископаемых, строительству энергетических объектов, включая развитие малой атомной энергетике, вызывает определенную обеспокоенность местного населения и требует проведения мер по информированию жителей относительно обеспечения экологической безопасности, решения социальных проблем в зоне намечаемой и осуществляемой деятельности [4].

Начало производства электроэнергии на плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС) «Академик Ломоносов» в городе Певек — свидетельство реализации части «Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года», включающей задачу замещения выбывающих мощностей Билибинской АЭС и Чаунской (угольной) ТЭЦ и обеспечения энергией потребителей Чаун-Билибинского энергоузла¹. Плавучий энергоблок (ПЭБ) «Академик Ломоносов», оснащенный двумя реакторными установками КЛТ-40С, обеспечивает в номинальном режиме выдачу в береговые сети 70 МВт электроэнергии и до 50 Гкал/ч тепловой энергии для нагрева теплофикационной воды. ПЭБ может обеспечивать электроэнергией населенный пункт с численностью населения около 100 тыс. человек². Возможность устойчивого круглогодичного теплоэнергоснабжения объектов промышленности, инфраструктуры и населения удаленных районов Арктики и Дальнего Востока России открывает перспективы для российских технологий атомного судостроения [5; 6]. Подтверждение успешной и безопасной для персонала, населения и окружающей среды эксплуатации ПАТЭС — необходимое условие для тиражирования полученного опыта на других отдаленных территориях страны.

На этапе планирования и создания ПЭБ «Академик Ломоносов» значения эффективной дозы

работников ПАТЭС обоснованно оценивались на основе данных об облучении персонала атомных ледоколов — от 5% до 25% годового предела эффективной дозы для персонала [7—9]. Подтверждение безопасности для населения и окружающей среды обеспечивается функционированием системы постоянного радиационного контроля выбросов ПАТЭС и мониторингом радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения в рамках производственного контроля. Территориальные управления федеральных органов надзора (Росприроднадзор, Росгидромет, Роспотребнадзор) выполняют собственные программы мониторинга радиационных параметров объектов окружающей среды [10]. Учитывая вероятность недоверия населения к данным о радиационной ситуации, предоставляемым как эксплуатирующей организацией, так и органами надзора и контроля, целесообразно периодически проводить независимые исследования радиационной обстановки в районе расположения ПАТЭС [11; 12].

Для повышения осведомленности населения о радиационной обстановке на территории Певека, его окрестностей и динамике радиационных параметров окружающей среды за первые два года эксплуатации ПАТЭС «Академик Ломоносов» осенью 2021 г. выполнены независимые скрининговые исследования радиационной ситуации в интересах жителей Чукотского автономного округа.

Материалы и методы

В рамках радиационного обследования района расположения ПАТЭС «Академик Ломоносов» выполнены измерения мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) и удельной активности гамма-излучающих радионуклидов. В качестве аппаратного обеспечения использовался полевой гамма-спектрометр МКС-АТ6101ДР с детектором из NaI(Tl) 63×63 мм. Спектры гамма-излучения визуализируются на экране планшетного компьютера блока обработки информации, с помощью встроенного алгоритма производится расчет удельной активности радионуклидов. Время набора спектра зависело от загрузки спектрометра и составляло в среднем 15—20 мин, при этом неопределенность результатов измерения составляла 10—20%.

Выбор точки измерения осуществлялся исходя из физической доступности, рельефа местности и отсутствия большого снежного покрова. В присутствии средств массовой информации в каждой точке измерения выполнялось определение ее координат, фото- и видеофиксация процедуры и результата измерения радиационных параметров (рис. 1).

Все точки полевых гамма-спектрометрических измерений удельной активности можно разделить на три категории по назначению обследованных участков: санитарно-защитная зона ПАТЭС, селитебная территория Певека, участки за пределами территории Певека. В санитарно-защитной зоне спектро-

¹ Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. — Утв. распоряжением Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р.

² Общая информация на сайте ПАТЭС АО «Концерн Росэнергоатом» (https://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/sayt-pates/).



Рис. 1. Сопровождение средствами массовой информации процедур измерения: участок гидротехнических сооружений ПАТЭС (а), прибрежный участок (б). Фото Д. И. Гаврилова (Фонд «АТР АЭС», 6 октября 2021 г.)
Fig. 1. Media support of measurement procedures: section of hydraulic structures of the floating nuclear power plant (FNPP) (a), coastal section (b). Photo by D. I. Gavrilov (APR AES Foundation, October 10, 2021)

метрические измерения проведены на вертолетной площадке энергоблока, на участке гидротехнических сооружений (мол-причал) для раскрепления ПЭБ, на территории береговых сооружений ПАТЭС для приема и передачи электрической и тепловой энергии во внешние сети (рис. 1а). На территории Певека оценка мощности амбиентного эквивалента дозы и спектрометрические измерения выполнены на девяти участках, включая участки размещения жилых домов, социальных объектов, и на прибрежных участках (рис. 1б). За пределами городской территории исследования проведены на двух участках:

- в 12 км на юго-запад от Певека;
- в 6 км на северо-запад от Певека.

Выводы об отсутствии детектируемых физических параметров, указывающих на изменение радиационной ситуации в районе расположения ПАТЭС «Академик Ломоносов», были подтверждены результатами анализа данных долговременного мониторинга радиоактивных выпадений и мощности дозы в Певеке, проводимых Чукотским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Для анализа использована выборка из 3200 значений мощности дозы в мкЗв/ч с января 2013 г. по сентябрь 2021 г. Из этой совокупности 650 значений относятся к периоду после ввода в эксплуатацию ПАТЭС. Выборка данных бета-активности атмосферных выпадений в 10^{-5} Бк/(м²·сут) содержит 1280 значений с января 2018 г. по июнь 2021 г., из которых 560 значений относятся к периоду после ввода станции в эксплуатацию. Достоверно известно, что данные о бета-активности атмосферных выпадений регистрировались на стационарных постах, местоположение которых не менялось в течение указанного периода, в то же время геогра-

фическая привязка точек измерений мощности дозы могла постоянно варьировать в значительном масштабе. Поэтому корректное сравнение подвыборок до и после ввода в эксплуатацию возможно только для данных о бета-активности выпадений с использованием непараметрических критериев, для мощности дозы определены общие статистические характеристики и визуализированы временные серии.

Для обоснования достоверности полученных результатов полевых спектрометрических исследований были рассмотрены данные о геологическом строении полуострова Певек.

Результаты полевых исследований в районе расположения ПАТЭС

Целью выполненных в октябре 2021 г. полевых исследований являлась скрининговая оценка радиационной ситуации в Певеке и его окрестностях после первых двух лет эксплуатации ПАТЭС «Академик Ломоносов». Оценка основана на результатах измерения мощности дозы и удельной активности радионуклидов в грунтах и покрытиях обследованных участков (рис. 2).

Полученные значения мощности дозы и удельной активности радионуклидов в грунте или покрытиях представлены в табл. 1. Внешнее облучение от поверхности грунтов формируется в основном за счет высокого содержания природного радионуклида ⁴⁰K — 45—79% мощности дозы. На природные радионуклиды ториевого и уранового ряда приходится 24% и 15% внешнего облучения от поверхности грунтов соответственно (диаграммы слева на рис. 2).

Минимальное значение мощности амбиентного эквивалента дозы (0,012 мкЗв/ч) зафиксировано на вертолетной площадке ПЭБ (точка б на рис. 2). Мак-

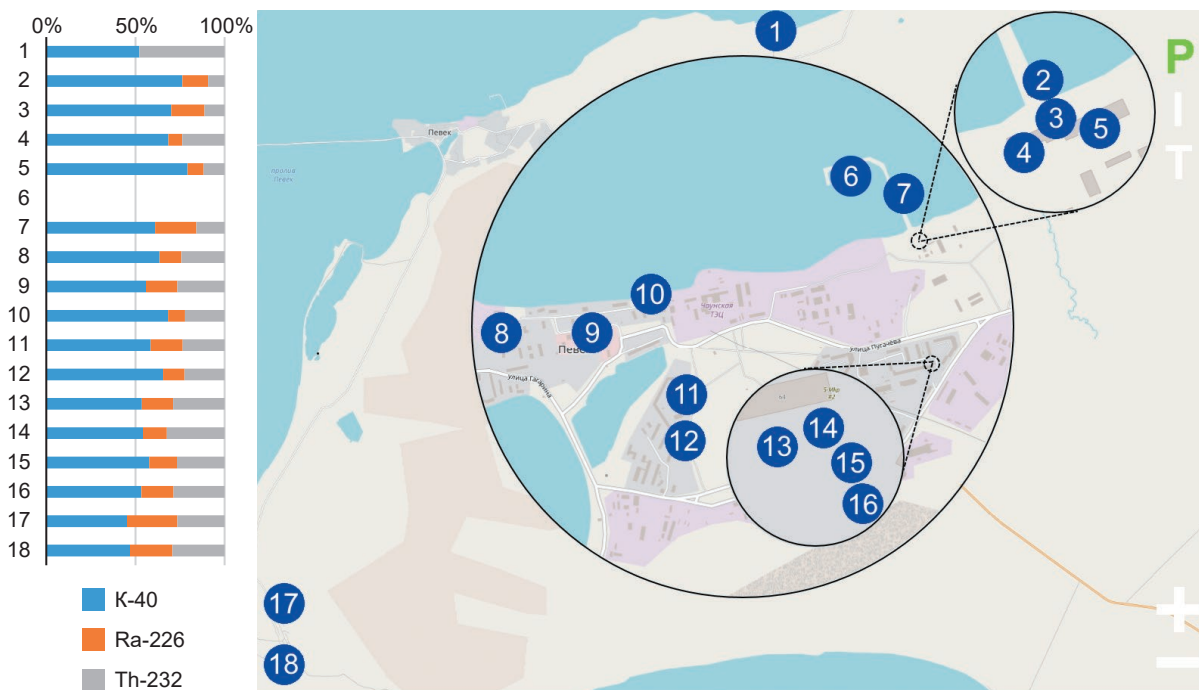


Рис. 2. Участки обследования в районе расположения ПАТЭС «Академик Ломоносов» и вклад радионуклидов в формирование внешнего облучения от поверхности грунта. Источник: расчеты авторов
 Fig. 2. Survey sites in the area of the location of the Akademik Lomonosov FNPP and the contribution of radionuclides to the formation of external exposure from the ground surface. Source: authors' calculations

симальные значения мощности дозы в точках 17 и 18 (соответственно 0,246 и 0,258 мкЗв/ч) зафиксированы на территории заброшенного горно-обогатительного комбината отселенного поселка Валькумей. Выделенные три категории обследованных участков различаются как диапазоном значений, так и средними величинами:

- в санитарно-защитной зоне ПАТЭС (кроме палубы) среднее значение 0,063 мкЗв/ч в диапазоне от 0,048 до 0,097 мкЗв/ч (точки 2—7 на рис. 2);
- на территории Певека среднее значение 0,124 мкЗв/ч в диапазоне от 0,097 до 0,182 мкЗв/ч (точки 8—16 на рис. 2);

- за пределами территории Певека среднее значение 0,184 мкЗв/ч в диапазоне от 0,047 до 0,258 мкЗв/ч (точки 1, 17, 18 на рис. 2).

Во всех точках идентифицирован природный радионуклид ⁴⁰K, содержание которого в почвах/грунтах на обследованных участках находится в диапазоне от 40 до 1250 Бк/кг. Практически повсеместно идентифицированы природные радионуклиды ²²⁶Ra и ²³²Th, их содержание не превышает 24 и 40 Бк/кг соответственно. Искусственные радионуклиды, в частности радиоизотопы цезия, йода, кобальта, не были обнаружены ни на одном участке обследования.

Таблица 1. Значения удельной активности обнаруженных радионуклидов и мощности дозы в точках обследованных участков

Table 1. Values of specific activity of detected radionuclides and dose rate at the points of surveyed areas

№ точки	Расстояние от источника выброса, м	Мощность дозы, мкЗв/ч	Удельная активность, Бк/кг		
			⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th
1	6 280	0,047	40	< 5	6
2	340	0,048	212	6	4
3	365	0,055	239	9	6
4	370	0,097	662	10	36
5	400	0,057	436	7	10
6	30	0,012	—	—	—

Окончание табл. 1

№ точки	Расстояние от источника выброса, м	Мощность дозы, мкЗв/ч	Удельная активность, Бк/кг		
			⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th
7	220	0,058	232	12	10
8	1 720	0,113	782	15	41
9	1 370	0,159	872	38	66
10	1 050	0,106	781	15	41
11	1 220	0,111	744	19	41
12	1 230	0,093	440	19	28
13	965	0,153	467	22	96
14	960	0,182	542	20	68
15	1 010	0,105	1001	34	40
16	990	0,097	796	36	40
17	12 275	0,246	1190	102	111
18	13 475	0,258	1250	87	124

Средние содержания радионуклидов (в % суммарной удельной активности) в грунтах участков трех категорий отличаются незначительно:

- санитарно-защитная зона ПАТЭС: ⁴⁰K — 94%, ²³²Th — 4%, ²²⁶Ra — 2%;
- селитебная территория Певека: ⁴⁰K — 90%, ²³²Th — 7%, ²²⁶Ra — 3%;
- участки за пределами территории Певека: ⁴⁰K — 85%, ²³²Th — 8%, ²²⁶Ra — 7%.

Установленные различия удельной активности природных радионуклидов не противоречат данным о геологическом строении района расположения Певека. Согласно данным открытого ресурса «ГИС-Атлас “Недра России”» геологическое строение всего полуострова Певек определяют граниты, гранодиориты, граносиениты, плагииграниты, кварцевые диориты, диориты (рис. 3).

Для указанных типов пород характерно относительно высокое содержание естественных радионуклидов. Этим объясняются как более высокие значения МАЭД, так и содержание естественных радионуклидов в грунтах, сформированных из местных горных пород, на территории Певека и вне его. Обследованные участки санитарно-защитной зоны ПЭБ имеют покрытие из завезенных строительных материалов, отличающихся более низким значением удельной активности естественных радионуклидов и, как следствие, низкими значениями мощности дозы.

Для формирования обоснованных выводов по представленным результатам полевых скрининговых исследований необходимо учитывать:

- применяемые в области радиационной безопасности критерии оценки состояния окружающей среды;



Рис. 3. Полуостров Певек и его геологическое строение: K₁ – меловая система, нижний отдел; γ – граниты, гранодиориты, граносиениты, плагииграниты; γδ – гранодиориты, граниты, кварцевые диориты, диориты [13]

Fig. 3. Pevек Peninsula and its geological structure: K₁ – Cretaceous system, lower section; γ – granites, granodiorites, granosyenites, plagiogranites; γδ – granodiorites, granites, quartz diorites, diorites [13]

- сведения о характерных радионуклидах в выбросах реакторных установок при нормальных условиях эксплуатации АЭС;
- альтернативные данные о радиационных характеристиках окружающей среды, таких как данные долговременных наблюдений радиоактивных выпадений и мощности дозы на обследованной территории.

Обсуждение полученных результатов

В области радиационной безопасности для оценки состояния защищенности нынешнего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения нормативно-правовые документы устанавливают ряд критериев, в первую очередь предел годовой эффективной дозы для населения (70 мЗв за период жизни 70 лет, или 1 мЗв/год в среднем) и для работников (100 мЗв за 5 лет, или 20 мЗв/год в среднем). Для ситуаций облучения населения от эксплуатации АЭС установлены более жесткие требования (дозовые квоты) — 100 мкЗв/год, что в 10 раз ниже предела годового облучения населения³. Следует учитывать, что согласно требованиям федерального закона «О радиационной безопасности населения» от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ (ст. 9, п. 2) установленные пределы годовой эффективной дозы не распространяются на источники ионизирующего излучения природного происхождения.

Другими словами, нормируются только дозы от практической деятельности при использовании радиоактивных или ядерных материалов, генераторов излучения. В контексте выполненных исследований это означает, что облучение от идентифицированных природных радионуклидов (см. табл. 1) в грунтах и почвах обследованных участков не учитывается при оценке радиационного воздействия от ПЭБ.

Ограничение облучения от природных радионуклидов осуществляется регулированием активности строительных материалов по содержанию ⁴⁰K, ²²⁶Ra и ²³²Th по величине эффективной удельной активности указанных радионуклидов $A_{эфф}$ (Бк/кг), рассчитываемой по формуле

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,3A_{Th} + 0,09A_K,$$

где A_{Ra} и A_{Th} — удельные активности ²²⁶Ra и ²³²Th, находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов; A_K — удельная активность ⁴⁰K⁴.

На всех обследованных участках значения эффективной удельной активности природных радионуклидов не превышали 370 Бк/кг, что означает отсутствие любых ограничений для обеспечения радиационной безопасности при использовании грунтов в качестве материалов для строительства. Представленные в табл. 1 величины удельной активности природных радионуклидов существенно меньше установленных для них значений минимально значимой удельной активности в материалах, ниже которой не требуется регулировать их использование:

- для калия-40 — не менее чем в 80 раз;
- для радия-226 — не менее чем в 98 раз;
- для тория-232 — не менее чем в 8 раз.

Такие результаты указывают на отсутствие угроз для здоровья человека от радиационного воздействия природных радионуклидов как на территории Певека, так и на прилегающих участках, доступных для посещения жителями города.

Изменение радиационной ситуации на территории Певека может происходить преимущественно за счет выбросов в атмосферу радиоактивных веществ при нормальной эксплуатации ядерной установки. Ранние прогнозные оценки радионуклидного состава выбросов ПЭБ предполагали поступление в атмосферу только инертных радиоактивных газов и полное улавливание радиоактивных аэрозолей системами очистки выбросов [7—9]. В более поздних прогнозах проектных выбросов радиоактивных веществ при нормальной эксплуатации ПЭБ в режиме работы на мощности рассматривались ⁴¹Ar, ⁸⁵Kr, ¹³³Xe, ¹³¹I, ¹³³I [14]. В режиме останова при перегрузке топлива (один раз в три года) в проектных выбросах учитывались инертные радиоактивные газы, ³H и интегральный показатель — «продукты коррозии» [5]. Согласно проектным решениям такой состав газоаэрозольных выбросов формирует условия облучения населения на внешней границе береговой площадки ПАТЭС около 0,002% дозы естественного радиационного фона [5; 14]. Для сценариев проектных аварий набор радионуклидов расширялся за счет продуктов деления и активации. Вклад ¹³⁷Cs в аварийное облучение населения оценивался на уровне 10% дозы естественного радиационного фона [14].

В настоящее время такие предположения о радионуклидном составе выбросов нельзя считать корректными, так как они отличаются от современных оценок основных дозообразующих радионуклидов в выбросах всех основных типов реакторных установок [15]. Публикации МАГАТЭ и НКДАР ООН содержат рекомендации по оценке 29 радионуклидов окружающей среды [16; 17]. Радиационно-технические обследования источников выбросов действующих энергоблоков российских АЭС показали, что 15 радионуклидов формируют не менее 99% эффективной дозы облучаемых лиц [18]. Согласно отраслевым нормативным документам, в выбросах атомных электростанций контролируются и нормируются 15 радионуклидов⁵: ³H, ¹⁴C, ²⁴Na, ⁴¹Ar, ⁵⁴Mn, ⁶⁰Co, ^{85m}Kr, ⁸⁷Kr, ⁸⁸Kr, ⁹⁰Sr, ¹³¹I, ¹³³Xe, ¹³⁵Xe, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs. Из представленного перечня радиоактивные изотопы натрия, кобальта, йода, цезия, стронция могут

³ Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03). СанПин 2.6.1.24-03. — М.: НТЦ ЯРБ, 2003. — 36 с.

⁴ Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. — М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии, 2009. — 100 с.

⁵ Методика МТ 1.2.1.15.1176-2016 «Разработка и установление нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ атомных станций в атмосферный воздух». — Утв. и введена в действие приказом АО «Концерн Росэнергоатом» от 16 ноября 2016 г. № 9/1472-П.

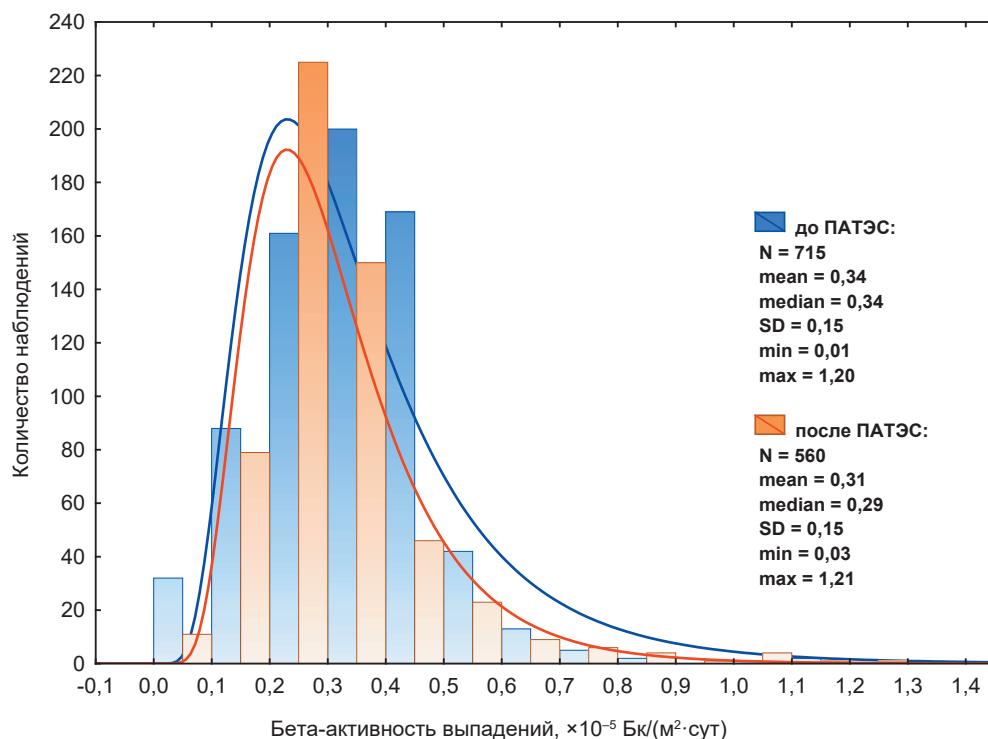


Рис. 4. Частотное распределение значений радиоактивных выпадений в Певеке до и после ввода в эксплуатацию ПАТЭС «Академик Ломоносов». Линии обозначают логнормальную аппроксимацию. Источник: расчеты авторов
 Fig. 4. Frequency distribution of radioactive fallout values in the town of Pevek before and after the commissioning of the Akademik Lomonosov FNPP. Lines indicate lognormal fitting. Source: authors' calculations

выбрасываться в атмосферу в форме аэрозолей. В результате сухого и влажного осаждения радиоактивные аэрозоли выпадают из атмосферного воздуха на поверхность. Анализ данных долговременных наблюдений за интенсивностью радиоактивных выпадений позволяет выявлять наличие новых источников поступления радиоактивных веществ в атмосферу в случае статистически значимого роста наблюдаемых параметров.

Непрерывный радиационный мониторинг суммарной бета-активности атмосферных выпадений на метеостанции в Певеке позволяет оперативно установить поступление в атмосферу радионуклидов из источников выброса ПАТЭС, а также сделать ретроспективную оценку динамики содержания радиоактивных веществ в атмосфере. Статистический анализ подвыборки данных суммарной бета-активности атмосферных выпадений до и после ввода станции в эксплуатацию показал незначительные различия в форме частотного распределения, параметрах вариативности данных, средних и медианных значений (рис. 4).

Результаты анализа интенсивности выпадений бета-активных радионуклидов в районе размещения ПАТЭС показывают, что рассматриваемые параметры различаются незначительно:

- до ввода в эксплуатацию ПАТЭС показатель был в диапазоне от $0,01 \cdot 10^{-5}$ до $1,20 \cdot 10^{-5}$ Бк/(м²·сут) при среднем значении $0,34 \cdot 10^{-5}$ Бк/(м²·сут);

- после ввода в эксплуатацию — в диапазоне от $0,03 \cdot 10^{-5}$ до $1,21 \cdot 10^{-5}$ Бк/(м²·сут) при среднем значении $0,31 \cdot 10^{-5}$ Бк/(м²·сут).

Поскольку частотные распределения и основные параметры интенсивности выпадений бета-активных радионуклидов в районе размещения ПАТЭС до и после ее пуска в эксплуатацию не имеют статистически значимых различий, нет оснований предполагать влияние плавучего энергоблока на радиологическую ситуацию.

На отсутствие объективных свидетельств изменения радиологической ситуации указывают также результаты анализа данных многолетних наблюдений на территории Певека, значения мощности дозы, полученные Чукотским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. На временной серии значений мощности дозы отсутствует тренд на повышение мощности дозы на участках контроля после ввода в эксплуатацию ПАТЭС «Академик Ломоносов» (рис. 5).

Все величины мощности дозы на территории Певека как до, так и после ввода в эксплуатацию ПАТЭС находятся в диапазоне 0,08—0,18 мкЗв/ч при среднем значении 0,13 мкЗв/ч, что хорошо согласуется с результатами выполненного скринингового обследования.

Отсутствие влияния выбросов ПАТЭС на радиологическую ситуацию объясняется высокой эффективностью систем очистки выбросов и постоян-

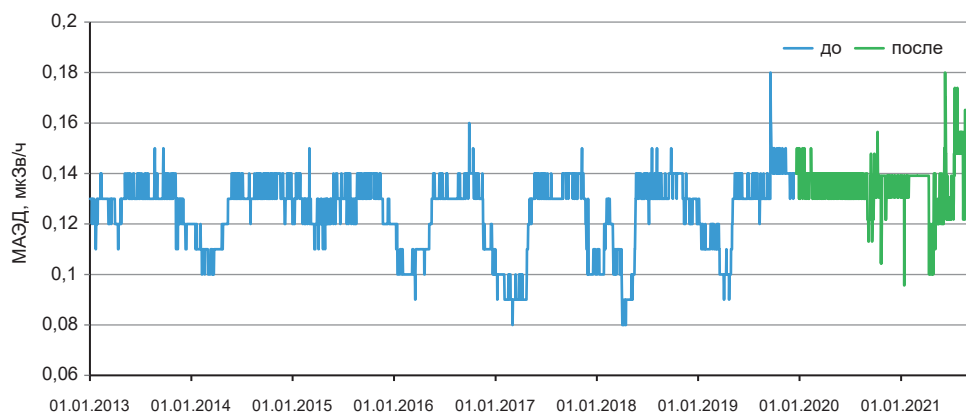


Рис. 5. Данные долговременных наблюдений значений МАЭД в Певеке до и после ввода в эксплуатацию ПАТЭС «Академик Ломоносов». Источник: расчеты авторов

Fig. 5. Long-term observational data of ambient dose equivalent rate in the town of Pevek before and after the commissioning of the Akademik Lomonosov FNPP. Source: authors' calculations

ным радиационным контролем как технологических сред плавучего энергоблока, так и объектов окружающей среды. Современные высокоэффективные нановолокнистые фильтрующие материалы для систем очистки выбросов радиоактивных аэрозолей гарантированно обеспечивают эффективность фильтрации на уровне 99,5% по наиболее проникающим частицам [19]. Для радиационного контроля ПАТЭС «Академик Ломоносов» оснащен системой СРК-05Р и автоматизированной системой контроля радиационной обстановки⁶. Приборное и методическое оснащение позволяет выполнять измерение объемной активности инертных радиоактивных газов, радиоактивного йода, радиоактивных аэрозолей в выбросах ПЭБ и тем самым гарантировать соблюдение допустимых норм радиационного воздействия на население и окружающую среду от выбросов радиоактивных веществ. Достоверное определение состава выбросов и обоснование основных дозообразующих радионуклидов при нормальной эксплуатации каждой АЭС в России производится регулярно в рамках инструментальных инвентаризаций источников выброса радиоактивных веществ. Для этого применяются современные приборы и методы измерения активности радионуклидов, обеспечивающие предел измерения на порядки ниже штатных методов радиационного контроля [20].

Важной составляющей обоснования безопасности при нормальной эксплуатации любого объекта использования атомной энергии является общественное восприятие существующих потенциальных и действительных угроз. Основные результаты скринингового обследования были представлены на пресс-конференции для представителей более

20 различных российских и зарубежных средств массовой информации, участвовавших в измерениях. На семинаре в администрации Певека эти же результаты были показаны и разъяснены представителям заинтересованной общественности.

Сведения, полученные в присутствии авторитетных СМИ независимой и от эксплуатирующей организации, и от органов надзора и контроля группой научных сотрудников Института промышленной экологии РАН, вызвали интерес у участников общественного обсуждения и одобрение как транспарентностью получения, так и основными результатами. Такой подход направлен на гармонизацию заинтересованных сторон — бизнеса, органов местного управления и населения при промышленном освоении Арктики [21].

Заключение

Результаты скрининговой оценки радиационной обстановки в районе размещения ПЭБ позволяют утверждать, что за первые два года эксплуатации отсутствуют объективные свидетельства изменения радиоэкологической ситуации в районе размещения ПАТЭС «Академик Ломоносов». Полученные в ходе исследований диапазон мощностей дозы (0,08—0,18 мкЗв/ч) и его среднее значение (0,13 мкЗв/ч) согласуются с результатами долговременного мониторинга мощности дозы на территории Певека как до, так и после ввода в эксплуатацию ПЭБ. Интенсивность радиоактивных выпадений на территории города не изменилась за первые два года эксплуатации ПАТЭС и составляет в среднем $0,34 \cdot 10^{-5}$ Бк/(м²·сут).

Данные полевых спектрометрических исследований показали, что активность грунтов в районе расположения ПАТЭС «Академик Ломоносов» на 90—95% определяется ⁴⁰K, на 2—6% — ²³²Th и на 3—4% — ²²⁶Ra. Доминирующий вклад ⁴⁰K в активность грунтов объясняется влиянием данного радионуклида на формирование внешнего облучения от

⁶ Отчет по экологической безопасности Филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Плавучая атомная теплоэлектростанция» за 2021 год. — URL: https://rosenergoatom.ru/safety_environment/vozdeystvie-na-okruzhayushchuyu-sredu/ekologicheskie-otchety-ao-kontsern-rosenergoatom/.

поверхности обследованных участков. Природные радионуклиды ^{232}Th и ^{226}Ra формируют 24% и 15% внешнего облучения от поверхности грунтов соответственно. Уровни содержания природных радионуклидов в исследованных грунтах на территории Певека и за его пределами определяются геологическими условиями строения полуострова Певек. Таким образом, в районе размещения станции отсутствуют угрозы здоровью человека от радиационного воздействия природных радионуклидов как на территории города, так и на прилегающих участках.

Периодическое получение независимых оценок радиационной ситуации позволяет повысить доверие населения к результатам производственного радиационного контроля окружающей среды и регулярного государственного радиационного мониторинга.

Благодарность

Коллектив авторов выражает признательность фонду содействия развитию муниципальных образований «Ассоциация территорий расположения атомных электростанций» (Фонд «АТР АЭС») за организацию трансфера и размещение экспедиции в городе Певек.

Литература/References

1. Алленых М. А., Анисимова А. И. Плавучая атомная теплоэлектростанция «Академик Ломоносов» как новый вектор развития атомной энергетики // Друкер. вестн. — 2020. — № 3 (35). — С. 166—179. — DOI: 10.17213/2312-6469-2020-3-166-179.
Alenykh M. A., Anisimova A. I. Floating nuclear thermal power plant “Akademik Lomonosov” as a new vector of nuclear energy development. Drukerovskii vestnik, 2020, no. 3 (35), pp. 166—179. DOI: 10.17213/2312-6469-2020-3-166-179. (In Russian).

2. Горин Н. В., Екидин А. А., Головихина О. С. Атомная энергетика в национальных проектах России // Изв. высш. учеб. заведений. Ядер. энергетика. — 2021. — № 1. — С. 5—15. — DOI: 10.26583/npe.2021.1.01.
Gorin N. V., Ekinin A. A., Golovikhina O. S. Nuclear energy in Russia’s National Projects. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Yadernaya energetika, 2021, no. 1, pp. 5—15. DOI: 10.26583/npe.2021.1.01. (In Russian).

3. Брыкалов С. М., Бальбердин А. С., Нырко Д. А. и др. Выбор приоритетного варианта плавучего энергоблока по анализу технико-экономических показателей // Арктика: экология и экономика. — 2022. — Т. 12, № 4. — С. 551—558. — DOI: 10.25283/2223-4594-2022-4-551-558.
Brykalov S. M., Balyberdin A. S., Nyrkov D. A. et al. Choosing a priority option for a floating power unit based on the analysis of technical and economic indicators. Arctic: Ecology and Economy, 2022, vol. 12, no. 4, pp. 551—558. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-4-551-558. (In Russian).

4. Potravnaya E. V. Social Problems of Industrial Development of the Arctic Territories. J. of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences, 2021, 14 (7), pp. 1008—1017. DOI: 10.17516/1997-1370-0780.

5. Зверьков В. А., Фалеев М. И., Цыбилов Н. А. и др. Плавучая атомная теплоэлектростанция «Академик Ломоносов» в решении проблемы обеспечения устойчивого развития арктических регионов России // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. — 2019. — Т. 9, № 2 (17). — С. 48—63.
Zverkov V. A., Faleev M. I., Tsybikov N. A. et al. Floating nuclear thermal power plant “Academician Lomonosov” in solving the problem of ensuring sustainable development of the Arctic regions of Russia. Strategiya grazhdanskoj zashchity: problemy i issledovaniya, 2019, vol. 9, no. 2 (17), pp. 48—63. (In Russian).

6. Саркисов А. А., Смоленцев Д. О., Антипов С. В. и др. Перспективы использования атомных энергетических технологий в Арктике // Арктика: экология и экономика. — 2022. — Т. 12, № 3. — С. 349—358. — DOI: 10.25283/2223-4594-2022-3-349-358.
Sarkisov A. A., Smolentsev D. O., Antipov S. V. et al. Prospects for the use of nuclear energy technologies in the Arctic. Arctic: Ecology and Economy, 2022, vol. 12, no. 3, pp. 349—358. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-3-349-358. (In Russian).

7. Хвостова М. С. Прогнозные оценки радиационных и радиоэкологических последствий эксплуатации и вывода из эксплуатации плавучей атомной теплоэлектростанции // Судостроение. — 2012. — № 1 (800). — С. 55—58.
Khvostova M. S. Forecast estimates of radiation and radioecological consequences of operation and decommissioning of a floating nuclear thermal power plant. Sudostroenie, 2012, no. 1 (800), pp. 55—58. (In Russian).

8. Саркисов А. А., Билашенко В. П., Высоцкий В. Л. и др. Атомный плавучий энергоопреснительный комплекс. Радиационная и радиоэкологическая безопасность // Изв. Рос. акад. наук. Энергетика. — 2009. — № 6. — С. 87—95.
Sarkisov A. A., Bilashenko V. P., Vysotskii V. L. et al. Nuclear floating energy desalination complex. Radiation and radioecological safety. Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Energetika, 2009, no. 6, pp. 87—95. (In Russian).

9. Хвостова М. С. Экологические, радиоэкологические и радиационные аспекты эксплуатации и вывода из эксплуатации плавучей атомной электростанции // Изв. Рос. акад. наук. Энергетика. — 2012. — № 1. — С. 58—64.
Khvostova M. S. Environmental, radioecological and radiation aspects of operation and decommissioning of a floating nuclear power plant. Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Energetika, 2012, no. 1, pp. 58—64. (In Russian).

10. Зверьков В. А., Каганов В. М., Фалеев М. И. и др. Варианты оптимизации комплексного радиоэкологического мониторинга в Арктической зоне России при эксплуатации плавучей атомной теплоэлек-

тростанции «Академик Ломоносов». Предложения по организации радиоэкологического мониторинга в районе расположения плавучей атомной теплоэлектростанции, других техногенно опасных объектов I и II категорий ядерной и радиационной опасности // Технологии гражданской безопасности. — 2020. — Т. 17, № 4 (66). — С. 69—79.

Zverkov V. A., Kaganov V. M., Faleev M. I. et al. Options for optimizing integrated radioecological monitoring in the Arctic zone of Russia during the operation of the floating nuclear thermal power plant "Akademik Lomonosov". Proposals for the organization of radioecological monitoring in the area of the floating nuclear thermal power plant, other technogenically hazardous objects of the I and II categories of nuclear and radiation hazard. *Tehnologii grazhdanskoi bezopasnosti*, 2020, vol. 17, no. 4 (66), pp. 69—79. (In Russian).

11. Горин Н. В., Волошин Н. П., Шмаков Д. В. и др. К вопросу формирования радиационной грамотности населения // Здоровоохранение, образование и безопасность. — 2018. — № 4 (16). — С. 137—145.

Gorin N. V., Voloshin N. P., Shmakov D. V. et al. On the issue of the formation of radiation literacy of the population. *Zdravookhranenie, obrazovanie i bezopasnost'*, 2018, no. 4 (16), pp. 137—145. (In Russian).

12. International Atomic Energy Agency. Stakeholder involvement throughout the life cycle of nuclear facilities. INSAG-20. IAEA, Vienna, 2015.

13. ГИС-Атлас «Недра России». — URL: <http://atlaspacket.vsegei.ru/#466f5f11abb4504d22>.

GIS-Atlas "Nedra Rossii". Available at: <http://atlaspacket.vsegei.ru/#466f5f11abb4504d22>. (In Russian).

14. Хвостова М. С. Экологические проблемы эксплуатации плавучей атомной теплоэлектростанции в арктическом регионе // Рос. Арктика. — 2018. — № 1. — С. 11—29.

Khvostova M. S. Environmental problems of operation of a floating nuclear thermal power plant in the Arctic region. *Rossiiskaya Arktika*, 2018, no. 1, pp. 11—29. (In Russian).

15. Ekidin A. A., Zhukovskii M. V., Vasyanovich M. E. Identification of the Main Dose-Forming Radionuclides in NPP Emissions. *Atomic Energy*, 2016, vol. 120, no. 2, pp. 106—108. DOI: 10.1007/s10512-016-0107-x.

16. INPRO Methodology for Sustainability Assessment of Nuclear Energy Systems: Environmental Impact of Stressors. IAEA Nuclear Energy Ser. No. NG-T-3.15. Vienna, IAEA, 2016.

17. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2016 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations. New York, 2017.

18. Vasyanovich M., Vasilyev A., Ekidin A. et al. Special Monitoring Results for Determination of Radionuclide Composition of Russian NPP Atmospheric Releases. *Nuclear Engineering and Technology*, 2019, vol. 51, no. 4, pp. 1176—1179. DOI: 10.1016/j.net.2019.02.010.

19. Белгородский В. С., Бudyка А. К., Бокова Е. С. и др. Новые нетканые материалы и их применение для анализа и защиты от радиоактивных аэрозолей // Изв. высш. учеб. заведений. Технология текстил. пром-сти. — 2021. — № 1 (391). — С. 73—82. — DOI: 10.47367/0021-3497_2021_1_73.

Belgorodskii V. S., Budyka A. K., Bokova E. S. et al. New nonwovens and their application for analysis and protection against radioactive aerosols. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya tekstilnoi promyshlennosti*, 2021, no. 1 (391), pp. 73—82. DOI: 10.47367/0021-3497_2021_1_73. (In Russian).

20. Екидин А. А., Васянович М. Е., Васильев А. В. и др. Определение радионуклидного состава и оценка доз облучения населения за счет атмосферных выбросов российских АЭС // Траектория исследований — человек, природа, технологии. — 2022. — № 2 (2). — С. 53—63. — DOI: 10.56564/27825264_2022_2_53.

Ekidin A. A., Vasyanovich M. E., Vasilev A. V. et al. Determination of radionuclide composition and assessment of radiation doses to the population due to atmospheric emissions of Russian nuclear power plants. *Traektoriya issledovaniy — chelovek, priroda, tekhnologii*, 2022, no. 2 (2), pp. 53—63. DOI: 10.56564/27825264_2022_2_53. (In Russian).

21. Novoselov A., Potravny I., Novoselova I., Gassiy V. Social Investing Modeling for Sustainable Development of the Russian Arctic. *Sustainability*, 2022, iss. 2, 14, p. 933. Available at: <https://doi.org/10.3390/su14020933>.

Информация об авторах

Екидин Алексей Анимович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН Институт промышленной экологии Уральского отделения РАН (620219, Россия, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 20), e-mail: ekidin@mail.ru.

Назаров Евгений Игоревич, младший научный сотрудник, ФГБУН Институт промышленной экологии Уральского отделения РАН (620219, Россия, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 20), e-mail: e.nazarov1005@gmail.com.

Антонов Константин Леонидович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт промышленной экологии Уральского отделения РАН (620219, Россия, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 20), e-mail: antonov.k@gmail.com.

RADIATION SITUATION AROUND THE FLOATING NUCLEAR THERMAL POWER PLANT “AKADEMIK LOMONOSOV” IN THE INITIAL PERIOD OF OPERATION

Ekidin, A. A., Nazarov, E. I., Antonov, K. L.

Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Ekaterinburg, Russian Federation)

The article was received on March 3, 2023

For citing

Ekidin A. A., Nazarov E. I., Antonov K. L. Radiation situation around the floating nuclear thermal power plant “Akademik Lomonosov” in the initial period of operation. *Arctic: Ecology and Economy*, 2023, vol. 13, no. 4, pp. 559—569. DOI: 10.25283/2223-4594-2023-4-559-569. (In Russian).

Abstract

The article considers the issues of energy supply to remote sparsely populated Arctic regions of the Russian Federation through the construction of low-capacity nuclear power plants. The effectiveness of this approach is demonstrated by the successful commissioning in 2019 of a unique floating power plant in the town of Pevek (FNPP Akademik Lomonosov). At the same time, the operation of such facilities raises questions from the local population about possible radioactive contamination of the territory. The absence of a negative impact of FNPP can be confirmed by comparing the radiation characteristics before and after commissioning, as well as by direct measurements of the soil radionuclide composition in the zone of possible impact. To search for changes in the radioecological situation in 2021, screening studies were carried out at the plant location area. An analysis of the monitoring data for radioactive fallout and dose rate in Pevek showed that external exposure from the surface of soil and soil is due only to natural radionuclides of the decay chains of uranium, thorium and ⁴⁰K. Artificial radionuclides characteristic of NPP emissions were not found in the surveyed areas. The range of values and maximum dose rate levels ($\mu\text{Sv/h}$) before and after commissioning of the FNPP do not differ from each other and coincide with the results of the performed screening assessment of the radiation situation. The results were discussed with the residents of Pevek. The results of the study make it possible to inform the public about the absence of changes in the radiation situation at the FNPP location area in the first years of operation.

Keywords: *Russian Arctic, Pevek, floating nuclear power plant, radiation situation, informing the population, monitoring, radionuclides, dose rate, gamma spectrometry.*

Acknowledgements

The team of authors returns the gratitude to the Foundation for Assistance to the Development of Municipalities “Association of Territories of Location of Nuclear Power Plants” (APR NPP Foundation) for organization of the expedition transfer and accommodation in the town of Pevek.

Information about the authors

Ekidin, Aleksey Akimovich, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, Institute of Industrial Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (20, Sofia Kovalevskaya st., Ekaterinburg, Russia, 620219), e-mail: ekidin@mail.ru.

Nazarov, Evgeny Igorevich, Junior Researcher, Institute of Industrial Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (20, Sofia Kovalevskaya st., Ekaterinburg, Russia, 620219), e-mail: e.nazarov1005@gmail.com.

Antonov, Konstantin Leonidovich, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Institute of Industrial Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (20, Sofia Kovalevskaya st., Ekaterinburg, Russia, 620219), e-mail: antonov.k@gmail.com.

© Ekidin A. A., Nazarov E. I., Antonov K. L., 2023