

ТРАЕКТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ — ЧЕЛОВЕК, ПРИРОДА, ТЕХНОЛОГИИ



НАУЧНЫЙ ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 2 (6) 2023





ТРАЕКТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ – ЧЕЛОВЕК, ПРИРОДА, ТЕХНОЛОГИИ

№ 2 (6) 2023

Главный редактор

Ярмошенко Илья Владимирович, к. ф.-м. н., директор Института промышленной экологии УрО РАН (г. Екатеринбург)

Заместитель главного редактора

Васильев Алексей Владимирович, к. т. н., заведующий лабораторией Института промышленной экологии УрО РАН (г. Екатеринбург)

Редакционная коллегия

Вараксин Анатолий Николаевич, д. ф.-м. н., профессор, главный научный сотрудник Института промышленной экологии УрО РАН (г. Екатеринбург)

Веселкин Денис Васильевич, д. б. н., заведующий лабораторией Института экологии растений и животных УрО РАН (г. Екатеринбург)

Екидин Алексей Акимович, к. ф.-м. н., доцент, ведущий научный сотрудник Института промышленной экологии УрО РАН (г. Екатеринбург)

Захаров Вячеслав Иосифович, д. ф.-м. н., профессор, заведующий лабораторией Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (г. Екатеринбург)

Иванов Владимир Юрьевич, к. ф.-м. н., директор института Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (г. Екатеринбург)

Крышев Александр Иванович, д. б. н., заведующий лабораторией Научно-производственного объединения «Тайфун» Росгидромета (г. Обнинск)

Марков Дмитрий Владимирович, д. т. н., директор АО «НИИТФА» (г. Москва)

Микляев Петр Сергеевич, д. г.-м. н., профессор РАН, главный научный сотрудник Института геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН (г. Москва)

Сюрдо Александр Иванович, д. ф.-м. н., профессор, главный научный сотрудник Института физики металлов им. М. Н. Михеева УрО РАН (г. Екатеринбург)

Талалай Александр Григорьевич, д. г.-м. н., профессор, заведующий кафедрой Уральского государственного горного университета (г. Екатеринбург)

Тузанкина Ирина Александровна, заслуженный деятель науки РФ, д. м. н., профессор, Институт иммунологии и физиологии УрО РАН (г. Екатеринбург)

Юрков Анатолий Константинович, к. г.-м. н., заведующий лабораторией Института геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН (г. Екатеринбург)



СОДЕРЖАНИЕ

**ТРАЕКТОРИЯ
ИССЛЕДОВАНИЙ –
ЧЕЛОВЕК, ПРИРОДА,
ТЕХНОЛОГИИ**

№ 2 (6) 2023

Главный редактор:
И. В. Ярмошенко

Редактор:
М. Э. Чупрякова

Компьютерная верстка:
Д. Д. Десятов

Дизайн обложки:
А. В. Вожаков

Автор фото:
А. Г. Буевич

Адрес редакции:
620990, г. Екатеринбург,
ИПЭ УрО РАН,
ул. С. Ковалевской, 20
Тел.: (343) 374-37-71
E-mail: iie@ecko.uran.ru
www.restrajjectory.ru

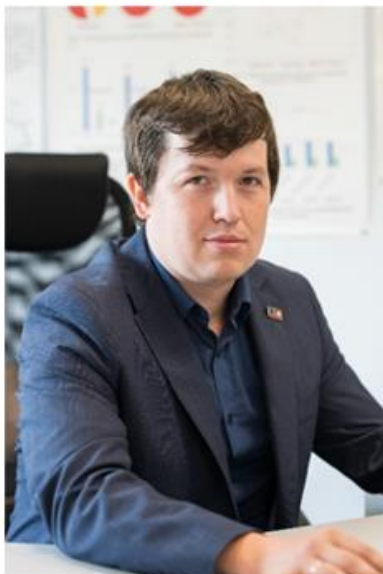
Журнал зарегистрирован
Федеральной службой
по надзору в сфере связи,
информационных
технологий и массовых
коммуникаций
27 апреля 2022 г.,
Эл№ ФС77-83207

Учредитель
ИПЭ УрО РАН

Перепечатка материалов,
опубликованных в журнале,
возможна только с
разрешения редакции.

От редакционной коллегии А. В. Васильев	2
Расчет максимальных уровней накопления и биологического переноса ^{137}Cs в рыбе Баренцева моря при гипотетической аварии с затонувшей атомной подводной лодкой К-159 А. Е. Крышев, Т. Г. Сазыкина	3
Опыт использования неинвазивного сенсорного замещения при локализации объектов в пространстве А. С. Буторова, А. П. Сергеев	16
Биосферная совместимость быстрых реакторов с замкнутым ядерным топливным циклом Н. В. Горин, В. П. Кучинов, В. М. Декусар, В. В. Шидловский	28
Аналитическое сравнение методик расчета избыточного давления взрыва BLEVE Н. Н. Старовойтова	39
Общественное содействие в обеспечении радиационной безопасности в зоне наблюдения ФГУП «ПО «МАЯК» В. С. Носовец, А. Р. Зигангиров, Е. С. Макеева, А. А. Екидин	45
Анализ соблюдения законодательства по благоустройству и содержанию придомовых территорий управляющими организациями в региональных центрах России Е. И. Початкова, А. А. Селезнев	57

ОТ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ



Современное общество, которое характеризуется технологическим и информационным прогрессом, находится в условиях быстрых изменений в технических и социальных сферах жизни, что требует особых усилий в области науки и образования. Мы уверены, что готовность общества к новым вызовам должна проистекать из гармоничного взаимодействия человека, природы и технологий, опираясь на научные подходы. В такой ситуации возрастает ответственность и роль современного исследователя, формируются основы и функции современного познания.

Настоящий выпуск журнала объединил широкий спектр научных исследований, имеющих важное экологическое, социальное и управленческое значение для современного общества. Шестой выпуск журнала «Траектория исследований – человек, природа, технологии» посвящен решению задач обеспечения безопасности человека и окружающей среды, математическому моделированию в системе «человек – среда обитания», выявлению проблем содержания урбанизированных территорий. Решение этих задач было бы невозможно без творческого подхода и понимания глубины целых научных направлений.

А. В. Васильев,
к. т. н., зам. главного редактора

РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ НАКОПЛЕНИЯ И БИОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРЕНОСА ^{137}Cs В РЫБЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПРИ ГИПОТЕТИЧЕСКОЙ АВАРИИ С ЗАТОНУВШЕЙ АТОМНОЙ ПОДВОДНОЙ ЛОДКОЙ К-159

А. И. Крышев, Т. Г. Сазыкина

Научно-производственное объединение «Тайфун», г. Обнинск, Россия

Выполнена оценка максимальных уровней и динамики загрязнения ^{137}Cs промыслового придонного вида рыб, пикши (*Melanogrammus aeglefinus*), для сценария гипотетической аварии с затонувшей атомной подводной лодкой К-159 в Баренцевом море. Для решения этой задачи рассчитаны уровни загрязнения донных отложений вблизи места аварии и разработана динамическая модель накопления ^{137}Cs в пикше Баренцева моря с учетом ее сезонных миграций. Загрязнение донных отложений ^{137}Cs может сохраняться на протяжении длительного времени после аварии, что приводит к поступлению радионуклида в промысловый вид рыб по бентосной пищевой цепочке: донные отложения – бентосная фауна – рыба-бентофаг. При рассмотренном аварийном сценарии уровни содержания ^{137}Cs в пикше, превышающие санитарно-гигиенический норматив 130 Бк/кг, возможны, если рыба провела от одних суток до трех месяцев вблизи загрязненного участка – до 200 м от места аварии. При этом из-за сезонных миграций пикши вылов рыбы может быть произведен в разных частях акватории Баренцева моря, в т. ч. на значительном удалении от загрязненного участка. Расчетное содержание ^{137}Cs в пикше при ее краткосрочном нахождении на расстоянии 2 км от места аварии не превысит 10 Бк/кг. В течение первого года после аварии максимальная доза от потребления одной выловленной особи пикши массой 2 кг, проведшей одну неделю вблизи пятна загрязнения, оценена равной 0,03 мЗв, 2 недели – 0,06 мЗв, 1 месяц – 0,12 мЗв, 2 месяца – 0,24 мЗв, 3 месяца – 0,35 мЗв, что ниже годовой дозовой квоты для населения. Выполненные оценки показывают необходимость моделирования биологического переноса ^{137}Cs мигрирующими промысловыми видами рыб арктических морей в случае обнаружения или прогноза высоких уровней загрязнения донных отложений.

Ключевые слова: Арктика; Баренцево море; радиационная авария; К-159; ^{137}Cs ; модель; донные отложения; рыба; пикша; доза.

1. Введение

На дне морей Арктики находится около 18 000 радиационных объектов, в т. ч. контейнеры с твердыми радиоактивными отходами, радиоактивные конструкции и блоки, суда с твердыми радиоактивными отходами на борту [1, 2]. Некоторые из затопленных/затонувших объектов содержат радиоактивные вещества в составе отработавшего ядерного топлива. К числу таких объектов относится советская атомная подводная лодка К-159 проекта 627А, которая затонула 30 августа 2003 г. в южной части Баренцева моря в результате нештатной ситуации при транспортировке на утилизацию [2]. Место затопления лодки К-159 находится на расстоянии 6 км от острова Кильдин, перед входом в Кольский залив Баренцева моря. Для этого ядерно- и радиационно опасного объекта существует гипотетическая возможность радиационной аварии с самопроизвольной цепной реакцией, что может привести к поступлению долгоживущих техногенных радионуклидов в морскую среду [2].

Был разработан сценарий аварии при подъеме лодки К-159 для транспортировки на утилизацию, в рамках которого определено, что в морскую воду может поступить до $2,48 \cdot 10^{13}$ Бк ^{137}Cs [2]. Модель расчета распространения ^{137}Cs показала, что объемная активность радионуклида в воде Баренцева моря быстро

снижается за счет разбавления и переноса с течениями, с достижением фоновых значений через 12 месяцев после аварии [3, 4].

При этом прогнозируется сохранение высоких уровней удельной активности ^{137}Cs в донных отложениях на протяжении длительного времени после аварийного поступления. Особое значение это имеет в непосредственной близости от источника аварийного загрязнения, где формируется пятно с высокими уровнями удельной активности ^{137}Cs в донных отложениях. Наличие такого пятна должно быть учтено при анализе радиоэкологических последствий гипотетической аварии, поскольку ^{137}Cs в донных отложениях – источник загрязнения всей бентосной пищевой цепочки, включая придонные виды рыб [5].

Для Баренцева моря характерно наличие промысловых видов рыб, совершающих сезонные миграции. Одним из таких видов является пикша (*Melanogrammus aeglefinus*). В летний период (июль – сентябрь) пикша присутствует в южной части Баренцева моря, где основу ее рациона составляет бентосная фауна [6]. Задача исследования – оценить уровни и динамику загрязнения ^{137}Cs пикши для рассмотренного сценария аварии в зависимости от длительности ее нахождения на небольшом (до 200 м) участке с высоким уровнем содержания ^{137}Cs в донных отложениях (от одних суток до трех месяцев). Для решения этой задачи рассчитаны уровни загрязнения донных отложений и бентосной фауны вблизи места аварии и разработана динамическая модель накопления ^{137}Cs в пикше Баренцева моря в предположении поступления радионуклида в рыбу по бентосной пищевой цепочке.

2. Материалы и методы

Загрязнение морской воды вблизи места аварии оценено с помощью двумерной модели рассеивания ^{137}Cs в морской воде от мгновенного источника. Динамика усредненной по глубине объемной активности ^{137}Cs в морской воде ($\text{Бк}/\text{м}^3$) рассчитывалась по формуле:

$$C_w(x, y, t) = \frac{A_0}{H} \cdot G(x, y, t) \cdot \exp\left(-\frac{w}{H} \cdot t\right), \quad (1)$$

где A_0 – активность ^{137}Cs , поступившая в морскую воду при аварии, Бк;

H – глубина в месте аварии, м;

w – гидравлическая крупность частиц, м/с;

t – время с момента аварийного (разового) поступления ^{137}Cs в воду, с;

величина $G(x, y, t)$ – динамическая функция рассеяния в морской среде единичного разового источника – рассчитывается по формуле [7]:

$$G(x, y, t) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y} \cdot \exp\left(-\frac{(x - u_x \cdot t)^2}{2 \cdot \sigma_x^2} - \frac{(y - u_y \cdot t)^2}{2 \cdot \sigma_y^2}\right), \quad (2)$$

где x, y – расстояния по координатным осям с центром в месте расположения источника загрязнения, м;

u_x, u_y – скорости течения по оси x и y соответственно, м/с;

σ_x, σ_y – дисперсии распределения примеси, вычисляются по формулам [7]:

$$\sigma_x^2 = \alpha \cdot t^3 + \sigma_{0,x}^2; \sigma_y^2 = \alpha \cdot t^3 + \sigma_{0,y}^2, \quad (3)$$

где $\alpha = 8 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}^3$,

σ_0 – начальный размер пятна радиоактивного загрязнения, м.

Для гипотетической аварии с затопленной подводной лодкой К-159 величина σ_0 принята равной длине лодки 107,4 м [2]; скорость течения в южной части Баренцева моря – $u_x=0,4$ м/с; скорость поперечного течения – $u_y=0$ (рассматривается загрязнение по оси распространения аварийного следа).

Максимальная удельная активность ^{137}Cs в верхнем слое донных отложений (Бк/кг) рассчитывается по формуле:

$$C_{s,\max} = \int_0^{t_s} \frac{w}{\rho_s \cdot h} \cdot C_w(t) dt, \quad (4)$$

где t_s – время прохождения загрязненной морской воды над участком донных отложений;

$h=0,1$ м – толщина поверхностного (эффективного) слоя донных отложений;

$\rho_s=1\ 250$ кг/м³ – плотность донных отложений.

Расчетное время прохождения пятна загрязнения морской воды на расстоянии 200 м от источника аварийного сброса составляет не более 30 мин.

Для частиц взвеси размером более 1 мм гидравлическая крупность рассчитывается по формуле [8]:

$$w = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot d_p \cdot \rho_p}{3 \cdot r \cdot \rho_w}}, \quad (5)$$

где $g=9,8$ м/с²;

d_p – диаметр частицы взвеси, м;

r – коэффициент сопротивления, для шарообразной частицы равен 0,45 [8];

$\rho_p=2\ 600$ кг/м³ – плотность частиц взвеси;

$\rho_w=1\ 020$ кг/м³ – плотность морской воды.

Осаждение крупных частиц, образовавшихся при аварии на радиационно опасном объекте в море и содержащих ^{137}Cs , происходит в ближней зоне аварии в радиусе, приблизительно равном $2 \cdot \sigma_0$. Вследствие осаждения радиоактивных частиц на дне формируется пятно загрязнения ^{137}Cs . Для рассматриваемого сценария величина w вычислена по формуле (5) при $d_p=10^{-3}$ м для расстояний до 200 м от места затопления лодки К-159 и равна 0,27 м/с, а для больших расстояний принята равной 10^{-4} м/с.

Загрязнение ^{137}Cs донных отложений вблизи места аварии (Бк/кг) сохраняется длительное время и снижается за счет миграции радионуклида в более глубокие слои:

$$C_s = C_{s,\max} \cdot \exp(-r_s \cdot t), \quad (6)$$

где $r_s=10^{-3}$ год⁻¹;

t – время с момента начального загрязнения донных отложений.

Сделано предположение, что вблизи сформировавшегося пятна загрязнения источником поступления ^{137}Cs в бентосную пищевую цепочку будут преимущественно донные отложения, а не морская вода.

Накопление и выведение радионуклида водными организмами зависит от их физиологических характеристик (масса, интенсивность роста и метаболизма), а также факторов окружающей среды и положения вида в трофической структуре экосистемы [9, 10]. Удельная активность радионуклида C_f (Бк/кг) в пикше (рыбе-бентофаге) рассчитывается с помощью уравнения:

$$\frac{dC_f}{dt} = -(\lambda + \varepsilon + \mu) \cdot C_f + (\varepsilon + \mu) \cdot CF_{f,s} \cdot C_s, \quad (7)$$

где λ – постоянная радиоактивного распада, год⁻¹;

μ – относительный прирост массы рыбы, год⁻¹, порядок его расчета описан в публикации [11], данные о зависимости массы пикши от ее возраста взяты из публикации [12];

$\mu = 0,25$ год⁻¹ для пикши массой 2 кг;

$CF_{f,s}$ – равновесный коэффициент перехода ¹³⁷Cs из донных отложений в корм пикши – моллюсков и бентосную фауну;

ε – параметр, характеризующий метаболизм и обмен ¹³⁷Cs в организме рыбы, сут⁻¹, порядок его расчета в зависимости от массы рыбы и температуры воды описан в публикации [11];

$\varepsilon = 0,42$ год⁻¹ для пикши массой 2 кг.

Равновесный коэффициент перехода ¹³⁷Cs из донных отложений в моллюсков и бентосную фауну Баренцева моря составляет 0,12 [13].

Пикша (*Melanogrammus aeglefinus*) относится к семейству тресковых и является важным промысловым видом рыб Баренцева моря. Нерест пикши происходит в Норвежском море, возле Лофотенских островов. Икра пелагическая, молодь пикши заносится в Баренцево море Нордкапским течением. Пикша ведет придонный образ жизни, питаясь преимущественно бентосной фауной; половой зрелости достигает в 5–7 лет. Пикша Баренцева моря совершает значительные сезонные миграции, в декабре – январе уходя на нерест, который происходит в апреле – мае. Во время нерестовой миграции пикша проходит расстояние до 1 000 км в течение четырех – пяти месяцев. Нерест занимает несколько недель, после нереста пикша возвращается к местам нагула в Баренцево море. Продолжительность жизни пикши 12–15 лет.

При расчетах предполагалось нахождение и питание пикши в районе высокого загрязнения донных отложений размером 200 м на протяжении от одних суток до трех месяцев. При этом происходит ее включение в бентосную цепочку биологического переноса и миграции ¹³⁷Cs, что позволяет оценить максимально возможный уровень накопления ¹³⁷Cs в промысловой рыбе-бентофаге (пикше) для данного сценария аварии. Когда пикша находится вблизи пятна загрязнения, удельная активность ¹³⁷Cs в ней рассчитывается по формуле (7). Когда пикша не находится вблизи пятна загрязнения, снижение накопленной в ней удельной активности ¹³⁷Cs рассчитывается с помощью уравнения (7), где принимается $C_s = 0$.

Доза облучения человека (Зв) от потребления рыбы, накопившей ¹³⁷Cs за время пребывания вблизи пятна загрязнения донных отложений, вычислялась по формуле:

$$D = \varepsilon_{ing} \cdot M_e \cdot C_p, \quad (8)$$

где $\varepsilon_{ing} = 1,3 \cdot 10^{-8}$ Зв/Бк – дозовый коэффициент при пищевом поступлении ¹³⁷Cs в организм человека [14];

M_e – масса потребленной рыбы, кг;

C_p – удельная активность ¹³⁷Cs в рыбе, Бк/кг.

Оценивалась доза от потребления человеком одной особи пикши массой 2 кг. Съедобная часть пикши составляет 60,6 % [15], тогда $M_e = 1,2$ кг.

3. Результаты

По расчетным оценкам загрязнение ^{137}Cs донных отложений на расстоянии до 200 м от места аварии при отсутствии мер по реабилитации за 9 лет снижается от 1,2 до 0,6 МБк/кг. Результат модельного расчета динамики загрязнения ^{137}Cs придонной рыбы (пикши) Баренцева моря для рассмотренного гипотетического сценария аварии на затонувшей атомной подводной лодке К-159 представлен на рис. 1. Момент гипотетического аварийного загрязнения предполагался 1 июня, время нахождения пикши непосредственно вблизи пятна загрязнения (до 200 м от места аварии) – от одних суток до трех месяцев в период с 1 июля.

На рис. 1 показана динамика удельной активности ^{137}Cs в пикше в зависимости от длительности нахождения возле загрязненного участка донных отложений. Максимальный уровень загрязнения ^{137}Cs пикши при пребывании вблизи пятна загрязнения на протяжении одних суток составляет 260 Бк/кг (снижаясь через год после аварии до 150 Бк/кг), одной недели – 1 900 Бк/кг, двух недель – 3 900 Бк/кг. При нахождении вблизи пятна загрязнения на протяжении одного месяца максимальный уровень расчетного загрязнения пикши составляет 7 800 Бк/кг, двух месяцев – 15 000 Бк/кг, трех месяцев – 22 000 Бк/кг.

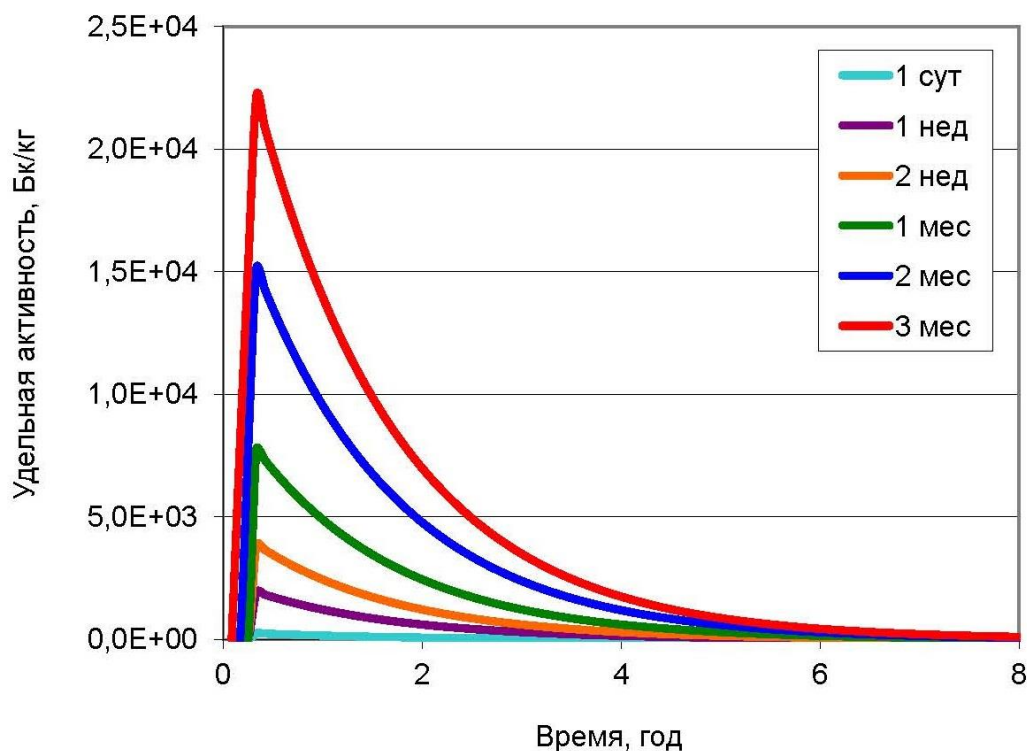


Рис. 1. Расчетная зависимость удельной активности ^{137}Cs в пикше после аварии от времени нахождения возле загрязненного участка донных отложений (от одних суток до трех месяцев)

Гигиенический норматив по содержанию ^{137}Cs в рыбе составляет 130 Бк/кг [16]. На рис. 1 видно, что если пикша провела вблизи загрязненного участка донных отложений одни сутки и включилась в бентосную цепочку переноса радионуклидов, то удельная активность ^{137}Cs в ней снизится до уровня 130 Бк/кг через полтора года после загрязнения, одну неделю – через 4 года, две недели – через 5 лет, один месяц – через 6 лет, три месяца – через 7 лет после загрязнения. Вылов такой рыбы может быть произведен в разных частях акватории Баренцева моря в зависимости от сезонных миграций пикши, в т. ч. на значительном удалении от загрязненного участка.

На рис. 2 показан результат модельного расчета динамики загрязнения ^{137}Cs пикши Баренцева моря после ее нахождения вблизи пятна загрязнения в течение одного месяца (июль) в разные годы после рассмотренной гипотетической аварии. Предполагается, что источником поступления ^{137}Cs в пикшу является ее пища – бентосная фауна, которая, в свою очередь, накапливает ^{137}Cs из донных отложений. Снижение максимальных уровней загрязнения пикши обусловлено снижением удельной активности ^{137}Cs в донных отложениях.

На рис. 3 показана расчетная зависимость максимального за год уровня загрязнения ^{137}Cs компонентов морской экосистемы – донных отложений, бентосной фауны и пикши (рыбы-бентофага) в зависимости от времени после гипотетической аварии. Результаты расчета для донных отложений и бентосной фауны на рис. 3 представлены для участка, непосредственно вблизи места аварии (до 200 м); для пикши – при условии ее нахождения в течение 1 месяца вблизи места аварии (июль).

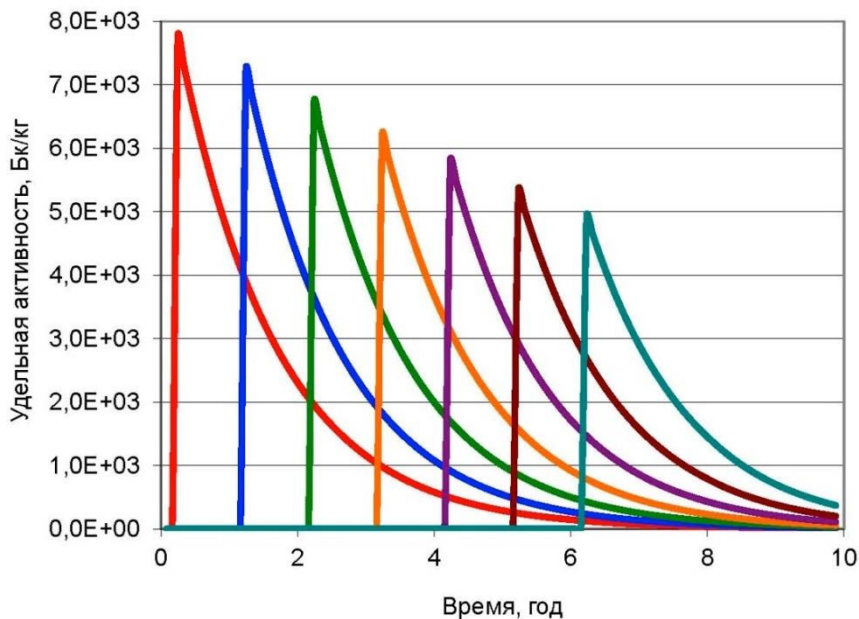


Рис. 2. Динамика загрязнения ^{137}Cs пикши Баренцева моря после ее нахождения вблизи пятна загрязнения в течение одного месяца в разные годы после аварии

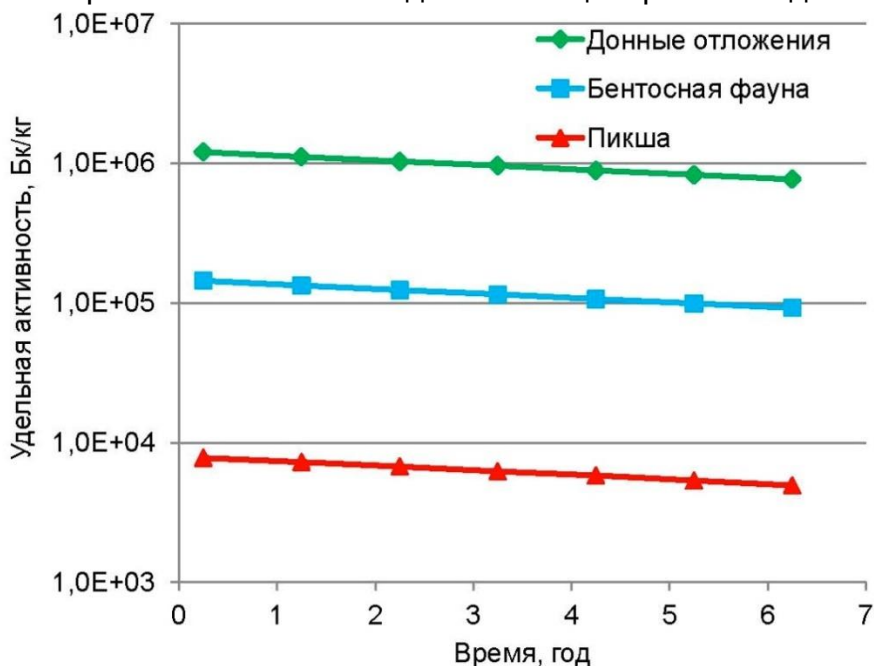


Рис. 3. Расчетная зависимость максимального за год уровня загрязнения ^{137}Cs компонентов морской экосистемы в зависимости от времени после аварии

В соответствии с модельным расчетом при удалении от места аварии загрязнение ^{137}Cs донных отложений значительно снижается. Поэтому снижаются и уровни содержания радионуклида в компонентах бентосной пищевой цепочки. На рис. 4 показан результат расчета динамики удельной активности ^{137}Cs в пикше после ее пребывания на протяжении одного – трех месяцев на расстоянии 2 км от места аварии. Максимальный расчетный уровень содержания ^{137}Cs в пикше в этом случае составляет 9 Бк/кг, через 3 года после аварии – 1,5 Бк/кг. Таким образом, кратковременное пребывание пикши на расстоянии 2 км от источника загрязнения при рассмотренном сценарии аварии не приведет к загрязнению рыбы ^{137}Cs до уровней, превышающих санитарный норматив.

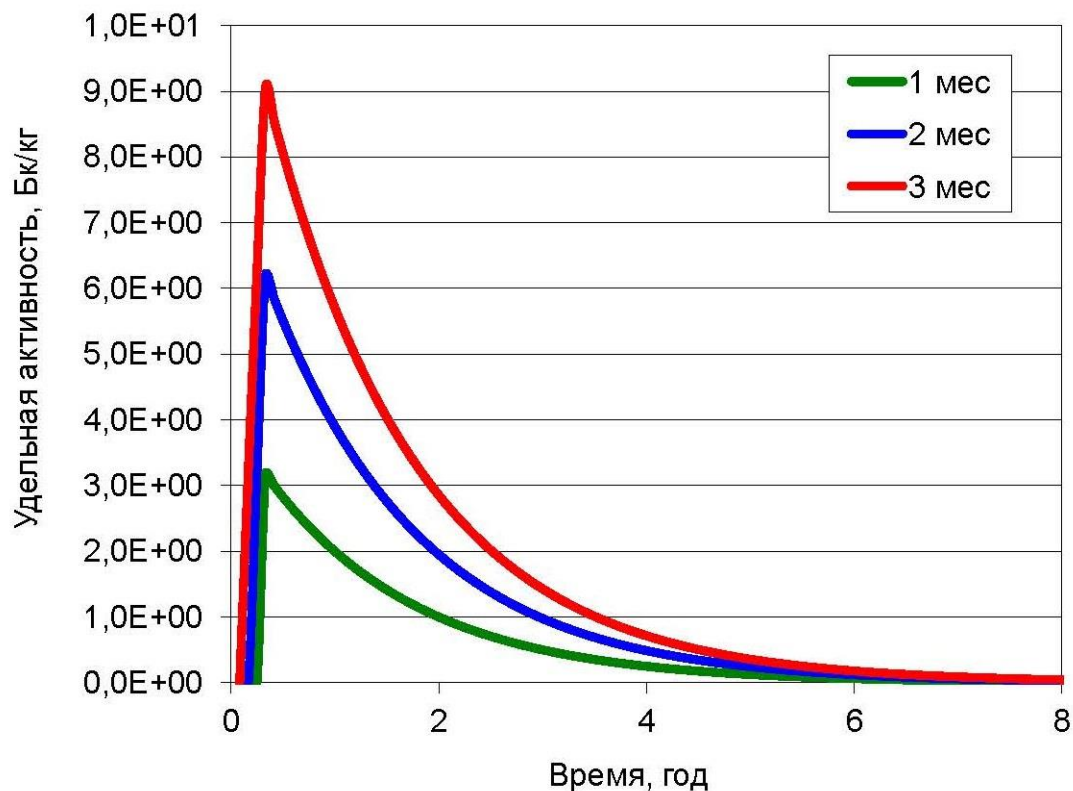


Рис. 4. Динамика удельной активности ^{137}Cs в пикше после ее пребывания на протяжении одного – трех месяцев на расстоянии 2 км от места аварии

На рис. 5 показан результат расчета максимального за год уровня загрязнения ^{137}Cs компонентов морской экосистемы – донных отложений и бентосной фауны на расстоянии 2 км от места аварии и пикши после нахождения в течение одного месяца на расстоянии 2 км от места аварии (в зависимости от времени после аварийного загрязнения). Удельная активность ^{137}Cs в донных отложениях на этом участке снижается за 9 лет с 500 до 250 Бк/кг, что ниже критерия отнесения к твердым радиоактивным отходам для данного радионуклида (10 000 Бк/кг). Расчетная удельная активность ^{137}Cs в бентосной фауне, постоянно обитающей на расстоянии 2 км от источника загрязнения, не превышает 100 Бк/кг. Расчетная максимальная удельная активность ^{137}Cs в пикше после ее временного нахождения на расстоянии 2 км от места аварии находится в диапазоне 2–3 Бк/кг. Современные уровни содержания ^{137}Cs в рыбе Баренцева моря составляют 0,1–0,3 Бк/кг [17, 18].

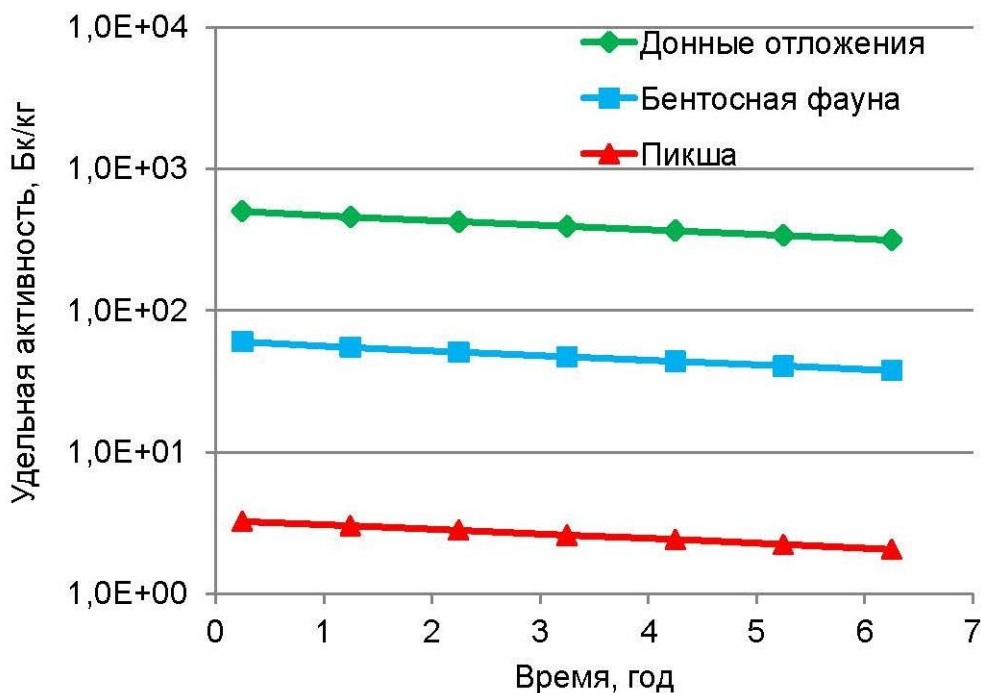


Рис. 5. Удельная активность ^{137}Cs в донных отложениях и бентосной фауне на расстоянии 2 км от места аварии и в пикше после ее нахождения в течение одного месяца на расстоянии 2 км от места аварии (расчет по модели)

Доза облучения человека от потребления одной особи пикши массой 2 кг, накопившей ^{137}Cs в результате нахождения от одних суток до трех месяцев вблизи пятна загрязнения донных отложений после гипотетической аварии на затонувшей атомной подводной лодке К-159, вычислена по формуле (8). В течение первого года после аварии максимальная доза от потребления одной выловленной особи пикши, проведенной одни сутки вблизи пятна загрязнения, оценена равной 0,004 мЗв, одну неделю – 0,03 мЗв, две недели – 0,06 мЗв, один месяц – 0,12 мЗв, два месяца – 0,23 мЗв, три месяца – 0,35 мЗв.

4. Обсуждение

Выполненные оценки демонстрируют важность использования динамической модели для расчета радиоэкологических и радиационно-гигиенических последствий морской аварии. В течение нескольких лет с момента аварийного поступления радионуклидов в море отсутствует равновесие в распределении радиоактивности между компонентами морской экосистемы (вода, донные отложения, рыба). Поэтому в случае морской аварии оценка и прогноз удельной активности ^{137}Cs в рыбе путем умножения объемной активности в воде на равновесное (табличное) значение коэффициента накопления ^{137}Cs в рыбе приведет к некорректному результату – очищение морской воды происходит значительно быстрее, чем выведение ^{137}Cs из организма рыбы. По этой же причине некорректно использовать значения контрольных уровней содержания ^{137}Cs в морской воде и донных отложениях [19, 20] для оценки радиоэкологических последствий морской аварии, эти значения были получены в предположении наличия равновесия в распределении радиоактивности между компонентами морской экосистемы, чего нет на протяжении нескольких лет после аварийного загрязнения.

Загрязнение ^{137}Cs донных отложений в отсутствии мер по реабилитации сохраняется на протяжении длительного времени после аварии. При рассмотренном сценарии гипотетической аварии с атомной подводной лодкой К-159 расчетный

уровень загрязнения ^{137}Cs донных отложений на расстоянии до 200 м от места аварии может достигать 1,2 МБк/кг, что, в свою очередь, приводит к высокому уровню загрязнения ^{137}Cs бентосной фауны, постоянно обитающей вблизи пятна загрязнения. Эти морские организмы не используются в пищу населением, однако они являются связующим звеном в цепочке накопления ^{137}Cs между загрязненными донными отложениями и пикшей, промысловым видом рыб Баренцева моря, ведущей придонный образ жизни и совершающей значительные сезонные миграции. Таким образом, в случае наличия на дне Баренцева моря долговременного источника радиоактивного загрязнения (^{137}Cs в донных отложениях) необходимо проводить оценку перехода радионуклида непосредственно из донных отложений в бентосную фауну. За счет встраивания в бентосную пищевую цепочку ^{137}Cs переходит в рыбу, совершающую сезонные миграции, и может быть обнаружен в рыбе даже на большом расстоянии от места аварийного загрязнения, где объемные активности ^{137}Cs в воде не превышают фоновых значений.

Максимальный уровень загрязнения ^{137}Cs пикши при пребывании вблизи пятна загрязнения в течение одного месяца через один год после аварии оценен равным 7 800 Бк/кг, через два года – 7 300 Бк/кг, через пять лет – 6 700 Бк/кг (рис. 2). Таким образом, на протяжении нескольких лет после гипотетической аварии с атомной подводной лодкой К-159 кратковременное пребывание пикши возле загрязненного участка донных отложений может повлечь ее включение в бентосную цепочку переноса ^{137}Cs и накопление этого радионуклида в рыбе-бентофаге выше нормативного уровня.

Моделирование накопления ^{137}Cs в основном промысловом виде рыб Баренцева моря – треске (*Gadus morhua*) – для сценария аварийного загрязнения требует отдельного исследования, поскольку эта рыба меняет тип питания за время жизни. Взрослая треска является хищной рыбой, слабо связанной с бентосной пищевой цепочкой, основу ее рациона составляют пелагические виды рыб (мойва, сельдь, сайка) [6].

Размер участка донных отложений с высоким уровнем загрязнения ^{137}Cs вблизи места аварии не превысит 200 м, поэтому повышенные уровни накопления ^{137}Cs в отдельных особях пикши возможны только при ее случайном нахождении вблизи этого небольшого загрязненного участка в период с июля по сентябрь. На расстоянии 2 км от места аварии расчетная удельная активность ^{137}Cs в донных отложениях ниже критерия отнесения к твердым радиоактивным отходам. Максимальный расчетный уровень загрязнения пикши ^{137}Cs при ее краткосрочном нахождении на расстоянии 2 км от места аварии не превышает установленный санитарно-гигиенический норматив.

Поступление ^{137}Cs в организм человека при рассмотренном сценарии аварии возможно при случайном вылове рыбы, которая в летнее время непродолжительное время находилась вблизи пятна загрязнения донных отложений. Показано, что вылов и потребление одной особи пикши среднего размера (масса 2 кг), проведенной 3 месяца вблизи пятна загрязнения, приведет к формированию дозы 0,35 мЗв, что ниже дозовой квоты для населения 1 мЗв. Однако выполненные оценки показывают необходимость детального анализа возможности биологического переноса ^{137}Cs и других долгоживущих радионуклидов мигрирующими промысловыми видами рыб арктических морей в случае обнаружения или прогноза высоких уровней загрязнения даже небольших участков морских донных отложений.

5. Выводы

1. Разработана динамическая модель, позволяющая рассчитать накопление ^{137}Cs в рыбе Баренцева моря после аварийного загрязнения.
2. Модель применена для оценки накопления и максимальных уровней загрязнения пикши Баренцева моря для сценария гипотетической аварии с затонувшей атомной подводной лодкой К-159.

3. Загрязнение донных отложений ^{137}Cs может сохраняться на протяжении длительного времени после аварии, что приведет к поступлению радионуклида в промысловый вид рыб по бентосной пищевой цепочке: донные отложения – бентосная фауна – пикша.

4. Размер участка донных отложений с высоким уровнем загрязнения ^{137}Cs вблизи места аварии оценен в 200 м, поэтому повышенные уровни накопления ^{137}Cs в отдельных особях пикши возможны только при ее случайном нахождении вблизи небольшого загрязненного участка.

5. После нахождения пикши в течение одной недели вблизи загрязненного участка донных отложений удельная активность ^{137}Cs в ней превысит санитарно-гигиенический норматив и снизится до его уровня только через 4 года после аварии. Из-за сезонных миграций пикши вылов такой рыбы может быть произведен в разных частях акватории Баренцева моря, в т. ч. на значительном удалении от загрязненного участка.

6. Содержание ^{137}Cs в пикше при ее краткосрочном нахождении на расстоянии 2 км от места аварии не превысит установленный санитарно-гигиенический норматив и незначительно превысит современные фоновые уровни содержания ^{137}Cs в рыбе Баренцева моря.

7. Расчетная доза облучения человека от потребления одной выловленной особи пикши, проведшей непродолжительное время (от одних суток до трех месяцев) вблизи пятна загрязнения донных отложений после аварии, находится в диапазоне 0,004–0,35 мЗв, что ниже годовой дозовой квоты для населения.

8. Необходимо проведение анализа возможности биологического переноса ^{137}Cs и других долгоживущих радионуклидов мигрирующими промысловыми видами рыб арктических морей в случае обнаружения или прогноза высоких уровней загрязнения даже небольших участков морских донных отложений.

6. Список литературы

1. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию: Радиоэкологические последствия удаления радиоактивных отходов в арктические и дальневосточные моря («Белая книга–2000») / С. М. Вакуловский, А. П. Васильев, В. Л. Высоцкий [и др.]. – М. : ИздАТ, 2005. – 624 с. – ISBN 5-86656-181-6. – EDN QKOFYF.
2. Атомное наследие холодной войны на дне Арктики: Радиологические и технико-экономические проблемы радиационной реабилитации морей / А. А. Саркисов, Ю. В. Сивинцев, В. Л. Высоцкий, В. С. Никитин. – М. : ИБРАЭ РАН, 2015. – 699 с. – ISBN 978-5-9907220-0-2. – EDN XMNHNR.
3. Прогноз и оценка радиоэкологических последствий гипотетической аварии на затонувшей в Баренцевом море атомной подводной лодке Б-159 / С. В. Антипов, В. П. Билашенко, В. Л. Высоцкий [и др.] // Атомная энергия. – 2015. – Т. 119, № 2. – С. 106–113. – EDN UEKIWZ.
4. Прогноз радиоэкологических последствий гипотетических аварий на ядерных и радиационно опасных объектах, находящихся на дне Баренцева и Карского морей / А. А. Саркисов, С. В. Антипов, В. Л. Высоцкий [и др.] // Атомная энергия. – 2018. – Т. 125, № 6. – С. 343–350. – EDN YVDCBF.
5. Катков, А. Е. Введение в региональную радиоэкологию моря / А. Е. Катков. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 160 с.
6. Долгов, А. В. Состав, формирование и трофическая структура ихтиоценов Баренцева моря / А. В. Долгов. – Мурманск : ПИНРО, 2016. – 336 с. – ISBN 978-5-86349-223-0.
7. Юрезанская, Ю. С. Моделирование переноса взвешенных веществ на океаническом шельфе / Ю. С. Юрезанская, В. Н. Котеров. – М. : Lambert Academic Publishing, 2011. – 116 с. – ISBN 978-3-8443-5430-0.
8. Шилова, Н. А. Особенности расчета гидравлической крупности частиц при моделировании начальной концентрации взвешенных веществ в приустьевых районах арктических морей / Н. А. Шилова, И. И. Студенов // Arctic Environmental Research. – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 295–307. – DOI 10.17238/issn2541-8416.2017.17.4.295. – EDN YWKJSU.

9. *Kryshev, A. I.* A dynamic model of ¹³⁷Cs accumulation by fish of different age classes / A. I. Kryshev, I. N. Ryabov // J. of Environmental Radioactivity. – 2000. – Vol. 50, No 3. – P. 221–233. – DOI 10.1016/S0265-931X(99)00118-6. – EDN LGHCPD.
10. *Сазыкина, Т. Г.* Моделирование радиоэкологических процессов в окружающей среде / Т. Г. Сазыкина, А. И. Крышев, И. И. Крышев. – М. : ООО «Маска», 2022. – 638 с. – EDN AFREHA.
11. Modelling the radioactive contamination of commercial fish species in the Barents Sea following a hypothetical short-term release to the Stepovogo Bay of Novaya Zemlya / A. I. Kryshev, T. G. Sazykina, M. N. Katkova [et al.] // J. of Environmental Radioactivity. – 2022. – Vol. 244–245. – P. 106825. – DOI 10.1016/j.jenvrad.2022.106825. – EDN NDFOMV.
12. StoX applied to cod and haddock data from the Barents Sea NOR-RUS ecosystem cruise in autumn / E. Johannesen, E. Johnsen, G. O. Johansen, K. Korsbrekke // Institute of Marine Research Report Series, Fisken og Havet, No. 2019-6. ISSN 1894-5031. Bergen: Institute for Marine Research, 2019. – 40 p.
13. *Росновская, Н. А.* Определение в воде и донных отложениях Баренцева моря контрольных уровней содержания радионуклидов, обеспечивающих приемлемый экологический риск / Н. А. Росновская, А. И. Крышев, И. И. Крышев // Морской биологический журнал. – 2022. – Т. 7. – № 4. – С. 70–80. – DOI 10.21072/mbj.2022.07.4.06. – EDN UEMHKS.
14. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009 – 100 с.
15. Единые нормы отходов, потерь, выхода готовой продукции и расхода сырья при производстве пищевой продукции и морских гидробионтов. – М. : Госкомрыболовство, 2002. – 46 с.
16. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов (СанПиН 2.3.2.1078-01): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М. : Роспотребнадзор, 2001. – 269 с.
17. Динамика искусственных радионуклидов в экосистемах морей Северного Ледовитого океана на рубеже XX–XXI веков. Часть 1. Морская вода и биота / Г. Г. Матишов, Г. В. Ильин, И. С. Усягина, Е. Э. Кириллова // Наука Юга России. – 2019. – Т. 15, № 3. – С. 12–23. – DOI 10.7868/S25000640190302. – EDN LUFDDP.
18. AMAP Assessment 2015: Radioactivity in the Arctic. Oslo : Arctic Monitoring and Assessment Programme, 2016. – 89 p.
19. Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в морских водах. Рекомендации Росгидромета. Р 52.18.852-2016. – Обнинск : НПО «Тайфун», 2016. – 20 с.
20. Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в донных отложениях морских водных объектов. Рекомендации Росгидромета. Р 52.18.873-2018. – Обнинск : НПО «Тайфун», 2019. – 29 с.

Сведения об авторах:

Крышев Александр Иванович, д. б. н., ведущий научный сотрудник ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск, ул. Победы, 4, 249037, Россия. Эл. почта: ecomod@yandex.ru
Сазыкина Татьяна Григорьевна, д. ф.-м. н., главный научный сотрудник ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск, Россия

CALCULATION OF THE MAXIMUM ACCUMULATION LEVELS AND BIOLOGICAL TRANSFER OF ^{137}Cs IN THE BARENTS SEA FISH FOR SCENARIO OF THE HYPOTHETICAL ACCIDENT WITH THE SUNKEN NUCLEAR SUBMARINE “K-159”

A. I. Kryshev, T. G. Sazykina

Research and Production Association “Typhoon”, Obninsk, Russia

*The maximum levels and dynamics of ^{137}Cs contamination of a commercial benthic fish species (haddock, *Melanogrammus aeglefinus*) were assessed for the scenario of a hypothetical accident with the sunken nuclear submarine K-159 in the Barents Sea. Contamination of bottom sediments near the accident site was calculated. Dynamic model of ^{137}Cs accumulation in haddock in the Barents Sea was developed, taking into account its seasonal migrations. Contamination of bottom sediments with ^{137}Cs can persist for a long time after the accident, leading to intake of the radionuclide into the commercial fish species through the benthic food chain "bottom sediments - benthic fauna - benthic fish". For the considered accidental scenario, the levels of ^{137}Cs in haddock, which exceed the sanitary and hygienic standard of 130 Bq/kg, are estimated if the fish spent from 1 day to 3 months near the contaminated area (up to 200 m from the accident site). Due to seasonal migrations of haddock, fish could be caught in different parts of the Barents Sea, including those located at a considerable distance from the contaminated area. The calculated activity concentration of ^{137}Cs in haddock after its short-term stay at a distance of 2 km from the accident site does not exceed 10 Bq/kg. During the first year after the accident, the calculated maximum dose from the consumption of one caught haddock weighing 2 kg, which spent 1 week near the highly contaminated spot, was estimated to be 0,03 mSv, 2 weeks – 0,06 mSv, 1 month – 0,12 mSv, 2 months – 0,23 mSv, 3 months – 0,35 mSv, which is below the annual dose quota for the population. The model results show the need to evaluate the biological transfer of ^{137}Cs by migratory commercial fish species of the Arctic seas in case of detection or prognosis of high levels of radioactive contamination in bottom sediments.*

Key words: Arctic; Barents Sea; radiation accident; K-159; ^{137}Cs ; model; bottom sediments; fish; haddock; dose.

References

1. Tekhnogennye radionuklidy v moryah, omyvayushchih Rossiyu: Radioekologicheskie posledstviya udaleniya radioaktivnyh othodov v arkticheskie i dal'nevostochnye morya («Belaya kniga–2000») / S. M. Vakulovskij, A. P. Vasil'ev, V. L. Vysockij [et al.]. – M. : Izdat, 2005. – 624 p. – ISBN 5-86656-181-6. – EDN QKOFYF (in Russian).
2. Atomnoe nasledie holodnoj vojny na dne Arktiki: Radiologicheskie i tekhniko-ekonomicheskie problemy radiacionnoj rehabilitacii morej / A. A. Sarkisov, YU. V. Sivincev, V. L. Vysockij, V. S. Nikitin. – M. : IBRAE RAS, 2015. – 699 p. – ISBN 978-5-9907220-0-2. – EDN XMNHNR (in Russian).
3. Prediction and evaluation of the radioecological consequences of a hypothetical accident on the sunken nuclear submarine B-159 in the Barents sea / S. V. Antipov, V. P. Bilashenko, V. L. Vysotskii [et al.] // Atomic energy. – 2015. – Vol. 119, № 2. – P. 106–113. – EDN UEKIWZ.
4. Forecast of radio-ecological consequences of hypothetical accidents at nuclear-and radiation-hazardous facilities located at the bottom of the Barents and Kara seas / A. A. Sarkisov, S. V. Antipov, V. L. Visotskii [et al.] // Atomic energy. – 2018. – Vol. 125, № 6. – P. 343–350. – EDN YVDCBF.
5. Katkov, A. E. Vvedenie v regional'nyu radioekologiyu morya / A. E. Katkov. – M. : Energoatomizdat, 1985. – 160 c (in Russian).
6. Dolgov, A. V. Composition, formation and trophic structure of the Barents sea fish communities / A. V. Dolgov. – Murmansk : PINRO, 2016. – 336 p. – ISBN 978-5-86349-223-0.

7. Yurezanskaya, Yu. S. Modelirovanie perenosa vzveshennyh veshchestv na okeanicheskom shelfe / Yu. S. Yurezanskaya, V. N. Koterov. – M. : Lambert Academic Publishing, 2011. – 116 p. – ISBN 978-3-8443-5430-0 (in Russian).
8. Shilova, N. A. Osobennosti rascheta gidravlicheskoj krupnosti chastic pri modelirovanii nachal'noj koncentracii vzveshennyh veshchestv v priust'evykh rajonah arkticheskikh morej / N. A. Shilova, I. I. Studyonov // Arctic Environmental Research. – 2017. – Vol. 17, № 4. – С. 295–307. – DOI 10.17238/issn2541-8416.2017.17.4.295. – EDN YWKJSU (in Russian).
9. Kryshev, A. I. A dynamic model of ^{137}Cs accumulation by fish of different age classes / A. I. Kryshev, I. N. Ryabov // J. of Environmental Radioactivity. – 2000. – Vol. 50, No 3. – P. 221–233. – DOI 10.1016/S0265-931X(99)00118-6. – EDN LGHCPD.
10. Sazykina, T. G. Modelirovanie radioekologicheskikh processov v okruzhayushchej srede / T. G. Sazykina, A. I. Kryshev, I. I. Kryshev. – M. : ООО «Маска», 2022. – 638 с. – EDN AFREHA (in Russian).
11. Modelling the radioactive contamination of commercial fish species in the Barents Sea following a hypothetical short-term release to the Stepovogo Bay of Novaya Zemlya / A. I. Kryshev, T. G. Sazykina, M. N. Katkova [et al.] // J. of Environmental Radioactivity. – 2022. – Vol. 244–245. – P. 106825. – DOI 10.1016/j.jenvrad.2022.106825. – EDN NDFOMV.
12. StoX applied to cod and haddock data from the Barents Sea NOR-RUS ecosystem cruise in autumn / E. Johannesen, E. Johnsen, G. O. Johansen, K. Korsbrekke // Institute of Marine Research Report Series, Fisken og Havet, No. 2019-6. ISSN 1894-5031. Bergen: Institute for Marine Research, 2019. – 40 p.
13. Rosnovskaya, N. A. Determination of control levels of radionuclides ensuring acceptable environmental risk in the Barents sea water and bottom sediments / N. A. Rosnovskaya, A. I. Kryshev, I. I. Kryshev // Marine Biological Journal. – 2022. – Vol. 7. – № 4. – P. 70–80. – DOI 10.21072/mbj.2022.07.4.06. – EDN UEMHKS.
14. Normy radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99/2009). Sanitarnye pravila i normativy / SanPin 2.6.1.2523-09. – M.: Minzdrav Rossii, 2009. – 100 p. (in Russian).
15. Edinye normy othodov, poter', vyhoda gotovoj produkcii i raskhoda syr'ya pri proizvodstve pishchevoj produkcii i morskikh gidrobiontov. – M. : Goskomrybolovstvo, 2002. – 46 p. (in Russian).
16. Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishchevoj cennosti pishchevyh produktov (SanPiN 2.3.2.1078-01): Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy. – M. : Rospotrebnadzor, 2001. – 269 p. (in Russian).
17. Dynamics of artificial radionuclides in the ecosystems of seas of the Arctic ocean at the turn of the 21st century. Part 1. Seawater and biota / G. G. Matishov, G. V. Ilyin, I. S. Usyagina, E. E. Kirillova // Science in the South Russia. – 2019. – Vol. 15, № 3. – P. 12–23. – DOI 10.7868/S25000640190302. – EDN LUFDDP.
18. AMAP Assessment 2015: Radioactivity in the Arctic. Oslo : Arctic Monitoring and Assessment Programme, 2016. – 89 p.
19. Poryadok rascheta kontrol'nyh urovnej sodержaniya radionuklidov v morskikh vodah. Rekomendacii Rosgidrometa. R 52.18.852-2016. – Obninsk: NPO «Taifun», 2016. – 20 p.
20. Poryadok rascheta kontrol'nyh urovnej sodержaniya radionuklidov v donnyh otlozheniyah morskikh vodnyh ob"ektov. Rekomendacii Rosgidrometa. P 52.18.873-2018. – Obninsk : NPO «Taifun», 2019. – 29 с.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕИНВАЗИВНОГО СЕНСОРНОГО ЗАМЕЩЕНИЯ ПРИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ

А. С. Буторова^{1,2}, А. П. Сергеев¹

¹ Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

² Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

Устройства, основывающиеся на принципе сенсорного замещения, могут предложить альтернативное зрение людям с нарушениями зрительной сенсорной системы. Устройства сенсорного замещения могут выполнять важную задачу, связанную с самостоятельной навигацией незрячих людей. Эта задача во многом осуществляется благодаря восприятию глубины. Восприятие глубины – это способность человека воспринимать мир в трех измерениях, оценивания расстояние до объектов. Настоящее исследование посвящено изучению восприятия глубины при использовании устройства сенсорного замещения The vOICe у зрячих испытуемых. В качестве пилотажного этапа для участия был привлечен один незрячий испытуемый. Зрячие испытуемые были поделены на две группы: первая группа использовала линейную перспективу как дополнительный сигнал глубины, вторая группа не использовала линейную перспективу как дополнительный сигнал глубины; незрячий испытуемый не использовал линейную перспективу как дополнительный сигнал глубины. Во время тестовых сессий испытуемые должны были локализовать белый пластиковый куб размером 4 x 4 x 4 см³ с помощью The vOICe и заменить его эквивалентным кубом. Тренировочный этап состоял из трех сессий, в ходе которых испытуемые практиковались в локализации и захвате куба с помощью The vOICe. Все экспериментальные группы продемонстрировали снижение абсолютного отклонения в тестовой постсессии эксперимента, что свидетельствует о повышении точности локализации куба. В каждой из двух групп зрячих испытуемых наблюдалось статистически значимое снижение абсолютного отклонения как для тестовых, так и для тренировочных сессий. Незрячий испытуемый в среднем проявил большую тенденцию к повышению точности локализации, чем зрячие испытуемые.

Ключевые слова: сенсорное замещение; нарушения зрения; The vOICe; восприятие глубины; пространственная локализация; точность локализации.

1. Введение

Зрение является доминирующим чувством у зрячих людей и наиболее изученным [1]. Разработки в области восстановления зрения используют неповрежденные сенсорные системы для предоставления информации, которая обычно обрабатывается зрительной сенсорной системой. Термин «сенсорное замещение» был впервые введен в конце 1960-х гг. [2]. Существует два класса устройств сенсорного замещения зрения: тактильные и аудиальные. Тактильные устройства сенсорного замещения манипулируют силой тактильных вибраций (см., например, EyeCane [3]) или ориентацией магнитной стрелки компаса (см., например, тактильный пояс [4]) для передачи информации о расстоянии и относительном расположении объектов в пространстве. Аналогично аудиальные устройства сенсорного замещения, такие как The vOICe [5] и PSVA (Prosthesis for Substitution of Vision by Audition – протез, заменяющий зрение слухом) [6], преобразуют визуальные паттерны в звук в соответствии с определенным алгоритмом и передают их

пользователю в режиме реального времени. Устройство визуально-аудиального сенсорного замещения зрения состоит из видеокамеры, собирающей визуальную информацию об окружающей среде, программного обеспечения, обрабатывающего эту информацию и преобразующего ее в аудиосигнал, и динамика или наушников, воспроизводящих аудиосигнал [7, 8].

Восприятие глубины – одна из важнейших перцептивных функций человека, она имеет решающее значение для преодоления препятствий, которые могут представлять серьезную опасность для людей с нарушениями зрения. Восприятие глубины – это способность воспринимать расстояние до объектов в поле зрения. Восприятие глубины также необходимо для создания трехмерного представления об окружающей среде [9]. У людей восприятие глубины в значительной степени зависит от зрительных способностей [10]. Однако восприятие глубины с помощью технологии сенсорного замещения приближается к зрению: оно основано на тех же визуальных сигналах глубины, собираемых камерой вместо глаз [11,12]. Восприятие глубины требует, чтобы субъекты извлекали и адекватно интерпретировали сигналы глубины [13–15]. Существуют бинокулярные сигналы (бинокулярное несоответствие, аккомодация, конвергенция) и монокулярные сигналы (относительный или знакомый размер, линейная перспектива, параллакс, относительная высота и т. д.).

Авторы [13–15] показали, что визуально-аудиальное сенсорное замещение может обеспечивать восприятие глубины у зрячих людей с завязанными глазами. В работе [16] испытуемые интерпретировали зрительные сигналы глубины и использовали их для локализации объектов с помощью системы сенсорного замещения. Авторы [17] показали, что сенсорное замещение может способствовать развитию восприятия глубины и визуальной перспективы у испытуемых с разным зрительным опытом. Предполагается, что различия в навигации и точности локализации объектов между зрячими и незрячими людьми возникают в основном из-за отсутствия визуальной информации, а не из-за различий, вызванных нарушениями зрения.

В настоящей работе мы воспроизводим экспериментальное исследование [13] с некоторыми модификациями: в настоящем эксперименте принимают участие только зрячие испытуемые; используется технология визуально-аудиального сенсорного замещения The vOICE. Как и в исходном эксперименте, выборка поделена на две группы: первая группа использовала линейную перспективу как дополнительный сигнал глубины, вторая группа не использовала линейную перспективу как дополнительный сигнал глубины. Целью настоящей работы стала оценка влияния одного из монокулярных сигналов глубины, линейной перспективы, на точность локализации объекта.

2. Материалы и методы

Экспериментальное исследование проводилось в соответствии с Хельсинкской декларацией, разработанной Всемирной медицинской ассоциацией, которая представляет собой свод этических принципов проведения медицинских исследований с участием человека в качестве субъекта исследования [18]. Перед началом эксперимента в первый день испытуемым предоставлялась основная информация об исследовании (тема, цель, условия участия, процедура, возможные неудобства и риски). Затем они подписывали согласие на участие в исследовании и согласие на обработку персональных данных. Испытуемые были вправе в любое время отказаться от участия в эксперименте без объяснения причин.

Оборудование

Экспериментальное исследование проводилось при помощи стационарного компьютера с техническими характеристиками: процессор Intel Core i5-4670k 3,40 ГГц, видеокарта GeForce GTX 1060 3 Гб, оперативная память 16 Гб с частотой 1333 ГГц;

монитор с разрешением 1920 x 1080 с частотой обновления 144 Гц; матрица дисплея IPS.

Экспериментальная установка состояла из стола (70 x 100 см²), покрытого черной тканью. Рабочая поверхность (60 x 60 см²) была ограничена с трех сторон (слева, спереди и справа) черными стенками. Линейная перспектива была задана вертикальными белыми полосами, расположенными слева и справа от рабочей поверхности (по три с каждой стороны). Каждая из полос потенциально могла использоваться испытуемыми в качестве ориентира для определения местоположения куба. Во время эксперимента велась видеозапись для последующей обработки результатов эксперимента (рис. 1).

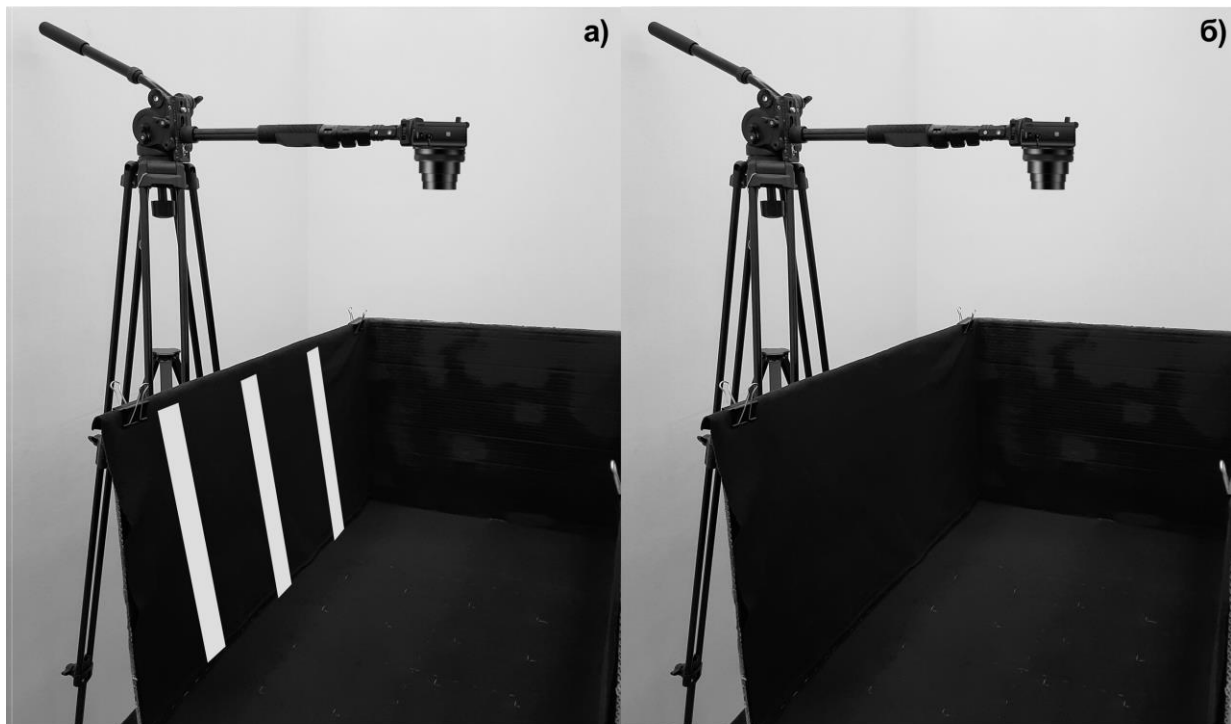


Рис. 1. Экспериментальная установка: а) экспериментальная установка для группы с линейной перспективой, б) экспериментальная установка для группы без линейной перспективы

В эксперименте использовалась технология визуально-аудиального сенсорного замещения The vOICe для Windows с настройками по умолчанию (разработчик П. Мейер [5]).

Сигнал с веб-камеры Logitech c310, закрепленной на голове испытуемого, передавался на ноутбук через USB-порт. Этот сигнал обрабатывался программой The vOICe. Звуковой ландшафт считывался с аудиоразъема и подавался в Bluetooth гарнитуру JBL Tune 560BT.

Алгоритм преобразования изображения в звук The vOICe получает входные данные с камеры и на их основе создает односекундные «звуковые ландшафты» [5]. Алгоритм сканирует изображения построчно (сверху вниз и слева направо), преобразовывает их в оттенки серого и разделяет на пиксели.

The vOICe использует три правила для преобразования пикселей в звук:

- 1) пиксели в левой части поля зрения воспроизводятся раньше, чем пиксели в правой части поля зрения;
- 2) чем ярче пиксель, тем выше громкость его звучания;
- 3) чем выше пиксель в поле зрения, тем выше высота его звучания.

До эксперимента ни один из испытуемых не использовал технологии сенсорного замещения для локализации объектов или исследования трехмерной (3D) среды.

Процедура эксперимента

Эксперимент состоял из пяти отдельных сессий продолжительностью от 20 до 60 минут каждая: две тестовые сессии (пресессия в 1-й день и постсессия на 5-й день эксперимента) и три тренировочные сессии на 2, 3 и 4-й день эксперимента:

- день 1: тестовая пресессия (40–60 минут);
- день 2: тренировочная сессия (20–40 минут);
- день 3: тренировочная сессия (20–40 минут);
- день 4: тренировочная сессия (20–40 минут);
- день 5: тестовая постсессия (30–40 минут).

Перед каждой сессией проводилась калибровка: экспериментатор помещал куб в центр рабочей поверхности на столе, и испытуемый мог прослушать, как звучит куб, и захватить его.

В первый день эксперимента все испытуемые прошли обучение по использованию технологии The vOICe и тактильно исследовали экспериментальную установку, чтобы получить представление об относительном размере каждой части установки. Никто из участников не видел экспериментальную установку до окончания тестовой постсессии эксперимента.

В ходе эксперимента белый пластиковый куб ($4 \times 4 \times 4 \text{ см}^3$) помещался псевдослучайным образом в одну из двадцати позиций на рабочей поверхности. Каждая сессия состояла из двадцати предъявлений куба. Каждая позиция куба предъявлялась в эксперименте одинаковое число раз. Продолжительность каждого предъявления ограничивалась двумя минутами. После десятого предъявления испытуемым предлагался десятиминутный перерыв.

Испытуемый исследовал статичную сцену посредством движений головы и корпуса. Вставать с места и передвигаться было нельзя.

Экспериментальная задача заключалась в локализации куба с использованием технологии The vOICe. Чтобы определить местоположение куба, испытуемые должны были центрировать куб в поле зрения камеры как по вертикали, так и по горизонтали. В этом случае куб находился прямо перед испытуемым. Центрированный куб звучал в средней тональности в середине звукового ландшафта, кодируемого слева направо.

Инструкция для локализации куба взята из русскоязычной версии учебного пособия по использованию программы The vOICe [19] без существенных изменений: «Для вертикального центрирования необходимо поднять голову вверх и потом наклонить вниз, пока сигнал объекта не зазвучит в среднем тоне (ни высоко, ни низко). Далее, удерживая голову на выбранном уровне, необходимо повернуть ее влево и вправо, пока сигнал не зазвучит через полсекунды от начала звучания “звукового ландшафта”, то есть в горизонтальной середине каждого скана “звукового ландшафта”, продолжительностью в одну секунду... Тогда вы можете протянуть руку и схватить предмет, представляя, что он находится в том направлении, в котором указывает ваш нос».

Тестовые сессии (1-й и 5-й день эксперимента). Во время тестовых сессий экспериментатор устанавливал куб (куб 1) на рабочую поверхность. По команде экспериментатора «Старт» испытуемый приступал к выполнению экспериментальной задачи. Когда испытуемый определял местоположение куба 1, он произносил команду «Стоп». Тогда экспериментатор выключал The vOICe, убирал куб 1 с поверхности стола и по команде «Куб» просил испытуемого установить эквивалентный куб (куб 2) на то место, где, по мнению испытуемого, находился куб 1. Точность локализации в тестовых сессиях оценивалась путем измерения расстояния между положениями куба 1 и куба 2. Расстояние фиксировалось как по оси абсцисс (ширине), так и по оси ординат (глубине).

Тренировочные сессии (2, 3 и 4-й день эксперимента). Во время тренировочных сессий испытуемые практиковались в пространственной локализации куба с помощью The vOICe. По команде экспериментатора «Старт» испытуемый приступал к

выполнению экспериментальной задачи. Когда испытуемый определял местоположение куба, он произносил команду «Стоп», и The vOICe отключался. Затем по команде экспериментатора «Куб» испытуемый должен был накрыть куб ладонью. Точность локализации в тренировочных сессиях оценивалась путем измерения расстояния между положением куба и положением центра ладони испытуемого. Расстояние фиксировалось как по оси абсцисс (ширине), так и по оси ординат (глубине). Предполагалось, что задача на хватание позволит испытуемым откалибровать свое восприятие с помощью технологии сенсорного замещения посредством двигательных и тактильных действий (интермодальных взаимодействий). Во время тренировочных сессий испытуемые получали обратную связь о точности локализации куба для каждого предъявления. Если испытуемые сталкивались с трудностями в локализации куба, экспериментатор корректировал их.

Для оценки динамики точности локализации куба в каждой из двух экспериментальных групп рассчитывались абсолютные отклонения в каждый день эксперимента. Абсолютное отклонение del вычислялось по формуле:

$$del = \sqrt{delX^2 + delY^2}, \quad (1)$$

где $delX$ – отклонение по оси абсцисс (ширине), $delY$ – отклонение по оси ординат (глубине).

Все испытуемые получили сопоставимый опыт работы с The vOICe: у них было одинаковое количество попыток попрактиковаться с технологией сенсорного замещения и одинаковые инструкции по работе с визуальными эффектами, предоставляемыми The vOICe.

После тестовых сессий проводились интервью для сбора впечатлений испытуемых, стратегий и сигналов глубины, использованных для локализации куба.

Участники

В эксперименте приняли участие 32 добровольца с нормальным или скорректированным до нормального зрением (9 мужчин и 23 женщины в возрасте от 18 до 28 лет), на время эксперимента им были завязаны глаза. Испытуемые были отобраны по следующим критериям:

- 1) возраст от 18 до 30 лет;
- 2) отсутствие в анамнезе испытуемого психических или неврологических заболеваний, оказывающих влияние на его когнитивную деятельность;
- 3) нормальное или скорректированное зрение;
- 4) нормальное функциональное состояние (отсутствие переутомления и/или недомогания) по субъективному самоотчету испытуемого.

Выборка была разделена на две группы: первая группа (17 человек) использовала линейную перспективу как дополнительный сигнал глубины, вторая группа (15 человек) не использовала линейную перспективу как дополнительный сигнал глубины (табл. 1).

Таблица 1. Половозрастные характеристики выборки

	Женщины, чел.	Мужчины, чел.	Средний возраст, лет
Без линейной перспективы, чел.	9	6	24,9
С линейной перспективой, чел.	14	3	20,2
Средний возраст, лет	21,0	22,9	

Эксперимент предполагал участие зрячих испытуемых, однако в качестве пилотажного этапа для участия был привлечен один незрячий испытуемый (мужчина в

возрасте 51 года), который прошел все 5 экспериментальных сессий без линейной перспективы в качестве дополнительного сигнала глубины.

3. Результаты

Исходные (в тестовой пресессии, 1-й день эксперимента) абсолютные отклонения оказались несопоставимы для двух групп зрячих испытуемых (группа без линейной перспективы: 120,2 мм; группа с линейной перспективой: 147,7 мм). Поэтому абсолютные отклонения в первый и пятый день в этих двух группах не сравнивались.

Было проведено внутригрупповое сравнение абсолютных отклонений в тестовых пре- и постсессиях для зрячих испытуемых (рис. 2). В каждой из групп наблюдалась значительная разница в абсолютных отклонениях между 1-м и 5-м экспериментальным днем (группа без линейной перспективы: p -значение = 0,020, критерий Уилкоксона; группа с линейной перспективой: p -значение = 0,002, критерий Уилкоксона). Для группы с линейной перспективой абсолютное отклонение оказалось больше, чем для группы без линейной перспективы как в 1-й, так и в 5-й день эксперимента. Скорость снижения абсолютного отклонения для группы с линейной перспективой была несколько выше, чем для группы без линейной перспективы, хотя различие между группами незначительное (рис. 2).

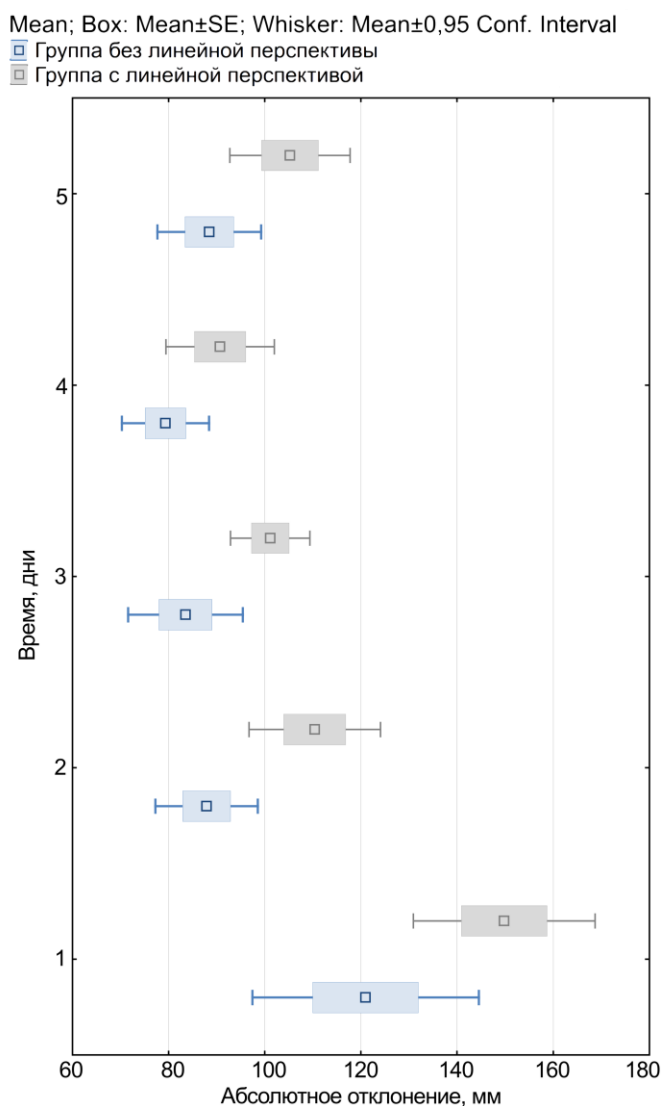


Рис. 2. Абсолютное отклонение для зрячих участников

Распределение ошибок в тестовой постсессии эксперимента было примерно одинаковым для двух групп зрячих испытуемых. Ближайший ряд распознавался

лучше, чем последние ряды (рис. 3). Размер эффекта вычислялся как разность между абсолютным отклонением в тестовой постсессии и абсолютным отклонением в тестовой сессии. Для обеих групп размеры эффекта в среднем были отрицательными.

Испытуемые были склонны чаще переоценивать расстояние до куба по глубине, чем недооценивать это расстояние. В среднем обе группы склонны переоценивать расстояние по глубине больше, чем по ширине. Однако переоценка по ширине и глубине у группы с линейной перспективой была больше, чем у группы без линейной перспективы (р-значение $\ll 0,050$, критерий Манна – Уитни).

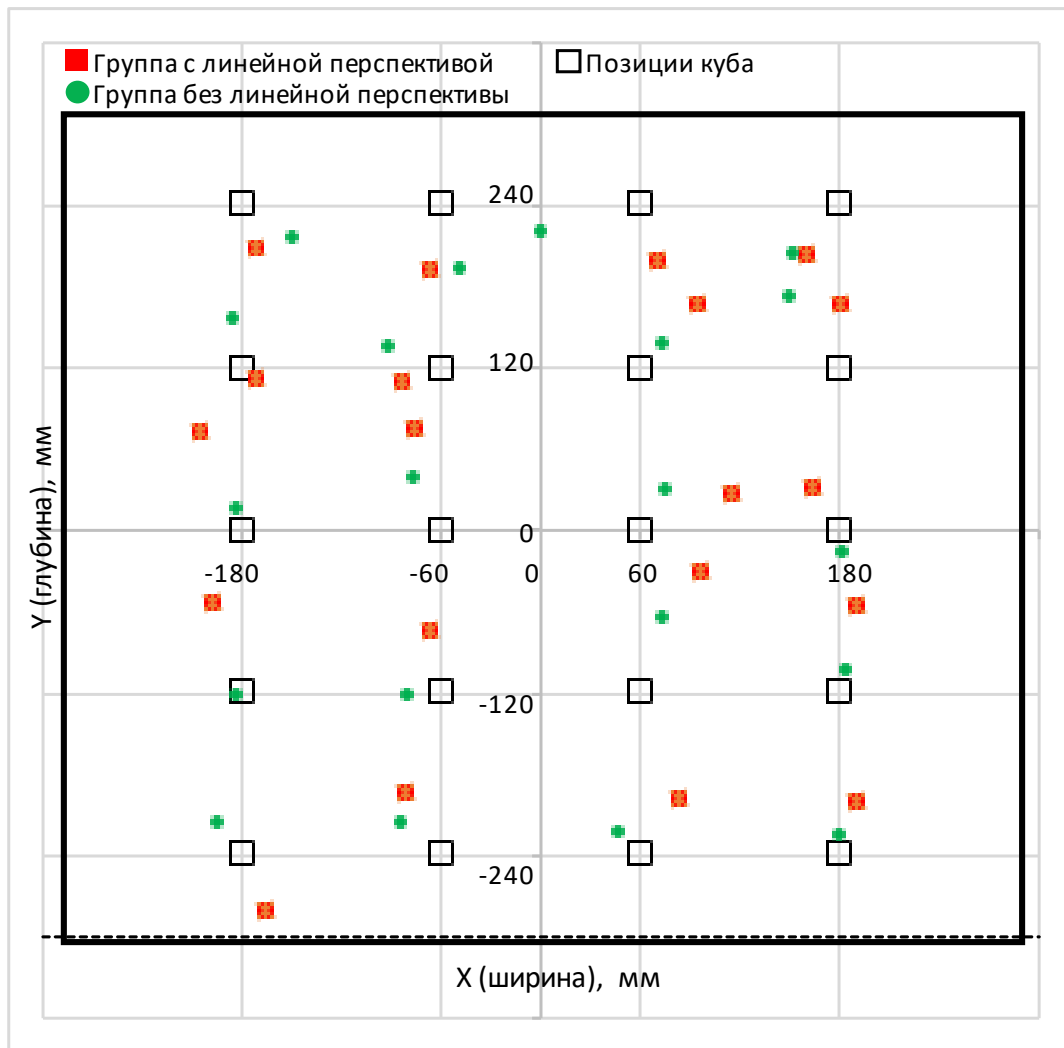


Рис. 3. Абсолютное отклонение от каждой позиции для зрячих участников

Результаты незрячего испытуемого сравнивались с результатами зрячей группы без линейной перспективы. Несмотря на то что полученные результаты не имеют статистической значимости, наблюдается устойчивая тенденция к снижению ошибки локализации у зрячей группы и незрячего испытуемого. Незрячий испытуемый имел изначально более низкое абсолютное отклонение по сравнению с группой зрячих испытуемых. Незрячий испытуемый в среднем показал меньшее абсолютное отклонение, чем группа зрячих испытуемых. В тренировочном этапе эксперимента незрячий испытуемый проявил большую тенденцию к повышению точности локализации, чем зрячая группа: для зрячей группы разность между отклонениями в первой и третьей тренировочных сессиях составила 8 мм, для незрячего испытуемого – 30 мм (рис. 4).

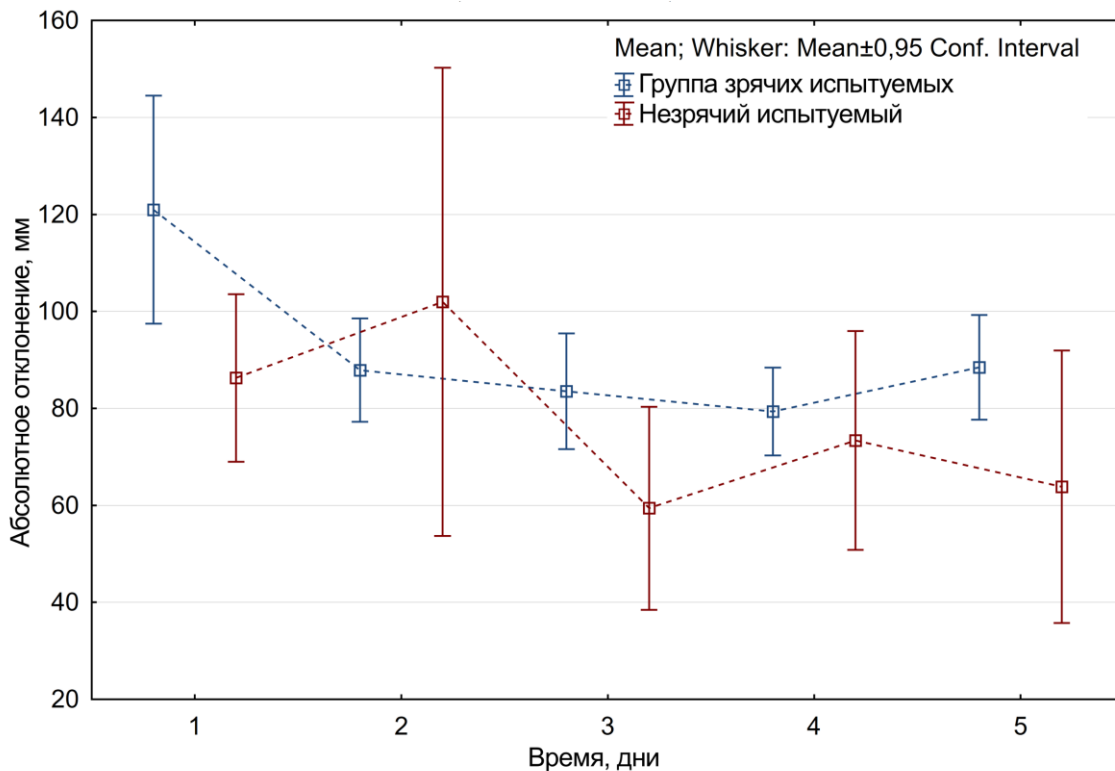


Рис. 4. Абсолютное отклонение для участников без линейной перспективы

Интервью после посттестовой оценочной сессии показали, что большинство испытуемых не использовали линейную перспективу в качестве дополнительного сигнала глубины. Часть испытуемых отметила, что вертикальные полосы не облегчали локализацию куба, а препятствовали ей.

4. Обсуждение

Все экспериментальные группы продемонстрировали положительную динамику при работе с устройством сенсорного замещения The vOICE. В каждой из двух групп зрячих испытуемых наблюдалось статистически значимое снижение среднего отклонения, что свидетельствует о повышении точности локализации куба. В эксперименте принял участие только один незрячий испытуемый, однако у него также наблюдалось повышение точности локализации к пятому дню эксперимента. Эти результаты согласуются с многочисленными исследованиями, которые показали, что с количеством тренировок у людей, не имевших ранее опыта взаимодействия с технологией сенсорного замещения, возрастает точность распознавания и локализации объектов в поле зрения [20].

Наличие линейной перспективы в поле зрения незначительно повлияло на динамику обучения использованию технологии сенсорного замещения, что согласуется с работой [13]. Наличие линейной перспективы не повлияло на точность пространственной локализации куба, что, напротив, расходится с результатами, полученными в работе [13]. Предположительно, в настоящей экспериментальной работе вертикальные полосы, задающие линейную перспективу, были скорее помехой, чем подсказкой.

В обеих группах зрячих испытуемых наблюдалось одинаковое распределение ошибок. Переоценка и недооценка расстояния до куба были ниже для первых рядов рабочей поверхности и выше для последних. При этом в обеих группах в среднем переоценка была больше по глубине, чем по ширине. Эти данные согласуются с теорией формы поля зрения человека, согласно которой форма поля зрения человека представляется в виде овала с более длинными горизонтальными осями [21].

Восприятие глубины за счет сенсорного замещения можно улучшить, внедряя методы обработки сигналов. Несколько способов улучшения восприятия глубины с помощью визуально-аудиального сенсорного замещения показаны, например, в [10]. Таким образом, вопрос изучения восприятия глубины для последующего развития систем сенсорного замещения представляется авторам актуальным.

В настоящей работе для упрощения процедуры набора участников и проведения эксперимента было принято решение набирать участников с нормальным или скорректированным до нормального зрением. Сложность набора незрячих участников заключается в возрастном разбросе, разном зрительном опыте, приобретенном участниками до потери зрения, малой мобильности. В будущем авторы планируют расширить выборку незрячих испытуемых для достижения статистически значимых результатов.

5. Выводы

1. Все экспериментальные группы продемонстрировали снижение абсолютного отклонения, что свидетельствует о повышении точности локализации. При этом в каждой из двух групп зрячих испытуемых наблюдалось статистически значимое снижение абсолютного отклонения.

2. Наличие линейной перспективы в поле зрения незначительно повлияло на динамику обучения использованию технологии сенсорного замещения.

3. Обе группы были склонны переоценивать расстояние по глубине больше, чем расстояние по ширине.

6. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Программы развития Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина в соответствии с программой стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

7. Список литературы

1. *Howard, I. P.* Seeing in Depth. Volume I: Basic Mechanisms / I. P. Howard. – Toronto, Canada: University of Toronto Press, 2002. – P. 650. – ISBN 0973087307.
2. Vision substitution by tactile image projection / P. Bach-y Rita, C. C. Collins, F. Saunders [et al.] // *Nature*. – 1969. – Vol. 221. – P. 963–964.
3. Increasing accessibility to the blind of virtual environments, using a virtual mobility aid based on the «EyeCane»: Feasibility study / S. Maidenbaum, S. Levy-Tzedek, D.-R. Chebat, A. Amedi // *PLoS one*. – 2013. – Vol. 8, № 8. – P. e72555.
4. Beyond sensory substitution – learning the sixth sense / S. K. Nagel, C. Carl, T. Kringe [et al.] // *J. of Neural Engineering*. – 2005. – Vol. 2(4). – P. R13–R26.
5. *Meijer, P. B.* An experimental system for auditory image representations / P. B. Meijer // *IEEE Trans. Biomed. Eng.* – 1992. – Vol. 39, No 2. – P. 112–121. – DOI 10.1109/10.121642.
6. A real time experimental prototype for enhancement of vision rehabilitation using auditory substitution / C. Capelle, C. Trullemans, P. Arno, C. Veraart // *IEEE Trans. Biomed. Eng.* – 1998. – Vol. 45. – P. 1279–1293. – DOI 10.1109/10.720206.
7. EyeMusic: Introducing a «visual» colorful experience for the blind using auditory sensory substitution / S. Abboud, S. Hanassy, S. Levy-Tzedek [et al.] // *Restor. Neurol. Neurosci.* – 2014. – Vol. 32(2). – P. 247–257. – DOI 10.3233/RNN-130338.
8. *Auvray, M.* Multisensory and spatial processes in sensory substitution / M. Auvray // *Restor. Neurol. Neurosci.* – 2019. – Vol. 37, No. 6. – P. 609–619. – DOI 10.3233/RNN-190950.
9. *Tovee, M.* An Introduction to the Visual System Second edition / M. Tovee. – New York: Cambridge University Press, 2008. – P. 212.

10. Klerk, J. C. Investigating techniques for gaining depth perception using visual-to-auditory sensory substitution / J.C. Klerk, D. Vogts, J. Wesson // Conference of the South African Institute of Computer Scientists and Information Technologists. – 2020. – P. 141–148.
11. O'Regan, J. K. Sensorimotor account of vision and visual consciousness / J. K. O'Regan, A. A. Noe // Behav. Brain. Sci. – 2001. – Vol. 24(5). – P. 939–973. – DOI 10.1017/S0140525X01000115.
12. Ward, J. Visual experiences in the blind induced by an auditory sensory substitution device / J. Ward, P. B. Meijer // Conscious. Cogn. – 2010. – Vol. 19(1). – P. 492–500. – DOI 10.1016/j.concog.2009.10.006.
13. Renier, L. Vision substitution and depth perception: Early blind subjects experience visual perspective through their ears / L. Renier, A. G. De Volder // Disabil. Rehabil.: Assist. Technol. – 2010. – Vol. 5(3). – P. 175–183. – DOI 10.3109/17483100903253936.
14. Neural substrates for depth perception of the Necker cube; a functional magnetic resonance imaging study in human subjects / T. Inui, S. Tanaka, T. Okada [et al.] // Neurosci. Lett. – 2000. – Vol. 282(3). – P. 145–148. – DOI 10.1016/s0304-3940(00)00899-5.
15. Cortical areas related to attention to 3D surface structures based on shading: an fMRI study / M. Taira, I. Nose, K. Inoue, K. Tsutsui // Neuroimage. – 2001. – Vol. 14. – P. 959–966. – DOI 10.1006/nimg.2001.0895.
16. Renier, L. Cognitive and brain mechanisms in sensory substitution of vision: a contribution to the study of human perception / L. Renier, A. G. De Volder // J. Integr. Neurosci. – 2005. – Vol. 4, No. 4. – P. 489–503. – DOI 10.1142/S0219635205000999.
17. Cross-modal activation of visual cortex during depth perception using auditory substitution of vision / L. Renier, O. Collignon, C. Poirier [et al.] // Neuroimage. – 2005. – Vol. 26. – P. 573–580. – DOI 10.1016/j.neuroimage.2005.01.047.
18. World Medical Association Declaration of Helsinki. Ethical principles for medical research involving human subjects // Bulletin of the World Health Organization. – 2001. – Vol. 79 (4). – P. 373 – 374. – URL <https://apps.who.int/iris/handle/10665/268312>. (дата обращения: 02.03.2023)
19. The vOICe Training Manual. – URL: https://www.seeingwithsound.com/manual_ru/The_vOICe_Training_Manual_ru.htm. (дата обращения: 12.04.2023)
20. A self-training program for sensory substitution devices / G. Buchs, B. Haimler, M. Kerem [et al.] // PLoS One. – 2021. – Vol. 16(4). – P. e0250281. – DOI 10.1371/journal.pone.0250281.
21. Künnapas, T. M. The vertical-horizontal illusion and the visual field / T. M. Künnapas // J. Exp. Psychol. – 1957. – Vol. 53 (6). – P.405–407. – DOI 10.1037/h0048637.

Сведения об авторах:

Буторова Анастасия Сергеевна, инженер-исследователь лаборатории физики и экологии Института промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия; аспирант, младший научный сотрудник лаборатории искусственного интеллекта Института радиоэлектроники и информационных технологий – РТФ Уральского федерального университета, Екатеринбург, Россия. Эл. почта: a.s.butorova@urfu.ru.

Сергеев Александр Петрович, к. ф.-м. н., ведущий научный сотрудник, и. о. заведующего лабораторией физики и экологии Института промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия.

EXPERIENCE OF USING NON-INVASIVE SENSORY SUBSTITUTION IN LOCALIZATION OF OBJECTS IN SPACE

A. S. Butorova^{1,2}, A. P. Sergeev¹

¹ Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

² Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

Devices based on the principle of sensory substitution may offer alternative vision for people with visual impairments. Sensory substitution devices are able to perform an important task related to the self-navigation of visually impaired people. This task is largely accomplished through depth perception. Depth perception is the ability of a person to perceive the world in three dimensions, estimating the distance to objects. The present study is devoted to the study of depth perception using the sensory substitution device The vOICe in sighted subjects. As a pilot stage, one blind subject was involved in the experiment. The sighted subjects were divided into two groups: the first group used linear perspective as an additional depth signal, the second group did not use linear perspective as an additional depth signal; the blind subject did not use linear perspective as an additional depth signal. During pre- and post-test evaluation sessions, subjects had to localize a 4 x 4 x 4 cm³ white plastic cube using The vOICe and replace it with an equivalent cube. The training phase consisted of three sessions during which subjects practiced in localizing and capturing a cube using The vOICe. All experimental groups demonstrated a decrease in the absolute deviation in the post-test experimental session, which indicates an increase in the accuracy of the cube localization. In each of the two groups of sighted subjects, there was a statistically significant reduction in the absolute deviation for both evaluation and training sessions. The blind subject, on average, showed a greater tendency to improve localization accuracy than the sighted subjects.

Key words: sensory substitution; visual impairment; The vOICe; depth perception; spatial localization; localization accuracy.

References

1. Howard, I. P. Seeing in Depth. Volume I: Basic Mechanisms / I. P. Howard. – Toronto, Canada: University of Toronto Press, 2002. – P. 650. – ISBN 0973087307.
2. Vision substitution by tactile image projection / P. Bach-y Rita, C. C. Collins, F. Saunders [et al.] // Nature. – 1969. – Vol. 221. – P. 963–964.
3. Increasing accessibility to the blind of virtual environments, using a virtual mobility aid based on the «EyeCane»: Feasibility study / S. Maidenbaum, S. Levy-Tzedek, D.-R. Chebat, A. Amedi // PLoS one. – 2013. – Vol. 8, № 8. – P. e72555.
4. Beyond sensory substitution – learning the sixth sense / S. K. Nagel, C. Carl, T. Kringe [et al.] // J. of Neural Engineering. – 2005. – Vol. 2(4). – P. R13–R26.
5. Meijer, P. B. An experimental system for auditory image representations / P. B. Meijer // IEEE Trans. Biomed. Eng. – 1992. – Vol. 39, No 2. – P. 112–121. – DOI 10.1109/10.121642.
6. A real time experimental prototype for enhancement of vision rehabilitation using auditory substitution / C. Capelle, C. Trullemans, P. Arno, C. Veraart // IEEE Trans. Biomed. Eng. – 1998. – Vol. 45. – P. 1279–1293. – DOI 10.1109/10.720206.
7. EyeMusic: Introducing a «visual» colorful experience for the blind using auditory sensory substitution / S. Abboud, S. Hanassy, S. Levy-Tzedek [et al.] // Restor. Neurol. Neurosci. – 2014. – Vol. 32(2). – P. 247–257. – DOI 10.3233/RNN-130338.
8. Auvray, M. Multisensory and spatial processes in sensory substitution / M. Auvray // Restor. Neurol. Neurosci. – 2019. – Vol. 37, No. 6. – P. 609–619. – DOI 10.3233/RNN-190950.
9. Tovee, M. An Introduction to the Visual System Second edition / M. Tovee. – New York: Cambridge University Press, 2008. – P. 212.

10. *Klerk, J. C.* Investigating techniques for gaining depth perception using visual-to-auditory sensory substitution / J.C. Klerk, D. Vogts, J. Wesson // Conference of the South African Institute of Computer Scientists and Information Technologists. – 2020. – P. 141–148.
11. *O'Regan, J. K.* Sensorimotor account of vision and visual consciousness / J. K. O'Regan, A. A. Noe // *Behav. Brain. Sci.* – 2001. – Vol. 24(5). – P. 939–973. – DOI 10.1177/S0140525X01000115.
12. *Ward, J.* Visual experiences in the blind induced by an auditory sensory substitution device / J. Ward, P. B. Meijer // *Conscious. Cogn.* – 2010. – Vol. 19(1). – P. 492–500. – DOI 10.1016/j.concog.2009.10.006.
13. *Renier, L.* Vision substitution and depth perception: Early blind subjects experience visual perspective through their ears / L. Renier, A. G. De Volder // *Disabil. Rehabil.: Assist. Technol.* – 2010. – Vol. 5(3). – P. 175–183. – DOI 10.3109/17483100903253936.
14. Neural substrates for depth perception of the Necker cube; a functional magnetic resonance imaging study in human subjects / T. Inui, S. Tanaka, T. Okada [et al.] // *Neurosci. Lett.* – 2000. – Vol. 282(3). – P. 145–148. – DOI 10.1016/S0304-3940(00)00899-5.
15. Cortical areas related to attention to 3D surface structures based on shading: an fMRI study / M. Taira, I. Nose, K. Inoue, K. Tsutsui // *Neuroimage.* – 2001. – Vol. 14. – P. 959–966. – DOI 10.1006/nimg.2001.0895.
16. *Renier, L.* Cognitive and brain mechanisms in sensory substitution of vision: a contribution to the study of human perception / L. Renier, A. G. De Volder // *J. Integr. Neurosci.* – 2005. – Vol. 4, No. 4. – P. 489–503. – DOI 10.1142/S0219635205000999.
17. Cross-modal activation of visual cortex during depth perception using auditory substitution of vision / L. Renier, O. Collignon, C. Poirier [et al.] // *Neuroimage.* – 2005. – Vol. 26. – P. 573–580. – DOI 10.1016/j.neuroimage.2005.01.047.
18. World Medical Association Declaration of Helsinki. Ethical principles for medical research involving human subjects // *Bulletin of the World Health Organization.* – 2001. – Vol. 79 (4). – P. 373 – 374. – URL <https://apps.who.int/iris/handle/10665/268312> (accessed: 02.03.2023).
19. The vOICe Training Manual. – URL: https://www.seeingwithsound.com/manual_ru/The_vOICe_Training_Manual_ru.htm (accessed: 12.04.2023)
20. A self-training program for sensory substitution devices / G. Buchs, B. Haimler, M. Kerem [et al.] // *PLoS One.* – 2021. – Vol. 16(4). – P. e0250281. – DOI 10.1371/journal.pone.0250281.
21. *Künnapas, T. M.* The vertical-horizontal illusion and the visual field / T. M. Künnapas // *J. Exp. Psychol.* – 1957. – Vol. 53 (6). – P.405–407. – DOI 10.1037/h0048637.

БИОСФЕРНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ С ЗАМКНУТЫМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВНЫМ ЦИКЛОМ

Н. В. Горин¹, В. П. Кучинов², В. М. Декусар³, В. В. Шидловский⁴

¹ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина», Снежинск, Россия

² НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

³ АО ГНЦ РФ ФЭИ, Обнинск, Россия

⁴ АО «Прорыв», Москва, Россия

Вся человеческая деятельность оказывает негативное влияние на окружающую среду, наибольший вклад в которое вносит производство энергии. Основные вызовы современности, угрожающие устойчивому развитию, – глобальное потепление и парниковый эффект – возникают из-за выбросов в атмосферу углекислого газа и общего загрязнения окружающей среды. Основные современные загрязнители окружающей среды – объекты углеводородной энергетики, промышленности и транспорта – не удовлетворяют биосферной совместимости и ставят под угрозу устойчивое развитие человечества. Для устойчивого развития нужна экологически чистая энергия в количестве не менее десятка млрд т н. э./год ($> 3-5 \cdot 10^{20}$ Дж/год). Возобновляемые источники энергии, солнечная и ветровая, с этой задачей не справятся, так как у них мала плотность потока энергии. Нужна новая технология, производящая на единицу массы сырья на несколько порядков больше энергии и меньше отходов. Атомная энергетика с реакторами на быстрых нейтронах и замкнутым ЯТЦ является технологией, обладающей лучшей биосферной совместимостью по сравнению с остальными возобновляемыми источниками энергии.

Ключевые слова: биосферная совместимость; устойчивое развитие; быстрые реакторы; замкнутый топливный цикл.

1. Введение

Понятие «биосферная совместимость», вынесенное в название статьи, подразумевает систему социально-экономических и гуманитарных механизмов комфортного взаимодействия человека, созданной им техносферы и окружающей среды [1]. Эти механизмы сложились по ходу развития человечества и были работоспособны до начала промышленной революции (начавшейся ~ 250–300 лет назад), пока численность населения с относительно небольшими запросами не превышала ~ 1 млрд чел. В результате этого развития возникали локальные проблемы, не оказывающие влияния на глобальное состояние биосферы.

В исследованиях биосферной совместимости различных аспектов деятельности человека рассматриваются вопросы развития технологий, организации их использования, а также производимых с их помощью продуктов и отходов и влияния этого комплекса на биосферу с целью определения закономерностей формирования социально-экономических и гуманитарных механизмов инновационной деятельности, а также создания теоретического фундамента биотехносферы. Хотя сегодня эти исследования в основном ориентированы на проблемы градостроительства, тем не менее представляется целесообразным взглянуть и на другие области человеческой деятельности, поскольку, как отмечают некоторые исследователи, вопрос разработки методологической основы определения принципов биосферной совместимости среды жизнедеятельности является актуальным [2].

Еще полвека назад Тур Хейердал, обеспокоенный загрязнением океана и всей планеты, отмечал, что тысячелетия назад древние люди начали преобразовывать, а

оказалось, разрушать природу для достижения собственных целей, не задумываясь о последствиях [3]. Тревожные симптомы устойчивости развития человечества были отмечены в публикациях Римского клуба [4]. Они были подтверждены спустя ~ 30 лет, было отмечено, что по некоторым критериям уже превышен предел устойчивого развития человечества [5]. Работы специалистов Римского клуба критиковали, но в целом с ними соглашались [6].

В современных публикациях отмечается, что за прошедшие тысячелетия Земля потеряла существенную часть своего лесного покрова, масштабы нарушенных наземных экосистем и загрязнений океана оказались весьма значительными, за несколько последних десятилетий резко снизилось естественное плодородие почв, загрязнилась питьевая вода, возрос объем бытовых отходов и пр. В результате к началу XXI в. уровень антропогенного воздействия на биосферу на порядок превысил допустимый предел [7]. Следует признать, что вся человеческая деятельность оказывает влияние на окружающую среду, причем наибольшее воздействие в настоящее время происходит от производства энергии за счет сжигания органических энергоносителей – угля, нефти и газа. В этой связи без экологически чистой атомной энергетики устойчивое развитие современной цивилизации не очевидно [8]. Другой способной производить не менее $3\text{--}5 \cdot 10^{20}$ Дж/год энергии пока нет, по крайней мере, до появления термоядерной энергетики.

В рамках настоящей статьи рассмотрена лишь одна из составляющих биосферной совместимости и устойчивого развития – технология производства энергии на основе реакторов на быстрых нейтронах (РБН) в замкнутом ядерном топливном цикле (ЯТЦ) [9–12].

2. Современная энергетика

Количество производимой энергии всех видов – представительный показатель экономического развития цивилизации. Если до первой промышленной революции в конце XVIII в. производство энергии находилось на уровне чуть выше $1,8 \cdot 10^{19}$ Дж/год, то уже в начале XX в. оно составляло около $4,3 \cdot 10^{19}$ Дж/год. При этом менялись используемые первичные источники энергии.

Основным источником энергии тысячелетия оставалась древесина. При сжигании она выделяет углекислый газ, это тот самый газ, который за несколько десятилетий до сжигания изымался из атмосферы фотосинтезом и преобразовывался в массу дерева. Запаздыванием в десятки лет при рассмотрении глобальных биосферных процессов можно пренебречь и считать, что равновесие CO_2 в природе при таком способе получения энергии не нарушалось.

Ситуация резко изменилась, когда началось массовое сжигание угля, нефти и газа для получения энергии. При этом образовывался CO_2 , изъятый из атмосферы фотосинтезом за многие миллионы лет до сжигания, и его появление нарушило сложившееся естественное равновесие и запустило процесс его накопления в атмосфере. В процессе сжигания углеводородов используется кислород и происходит изъятие его из атмосферы с весьма длительной задержкой. Сегодня общее производство энергии в мире оценивается около $6 \cdot 10^{20}$ Дж/год, которое на ~ 90 % обеспечивается сжиганием угля, нефти, природного газа и биотоплива с соответствующим выбросом CO_2 и потреблением O_2 .

Все тысячелетия человечество рассматривало природу, с одной стороны, как бесконечный источник сырья для удовлетворения своих непрерывно возрастающих потребностей, с другой – как неограниченный объем для утилизации отходов. Планета Земля велика, но все-таки конечна, а в конечной системе ничего бесконечного и неограниченного быть не может. Поэтому источники сырья и место утилизации отходов только казались неограниченными, пока на планете было не более 1 млрд чел. с ограниченными запросами, т. е. в доиндустриальный период развития. За последние 250–300 лет население увеличилось на порядок, еще сильнее возросли его потребности, соответственно, пропорционально возросла нагрузка на окружающую

среду и обострились проблемы обеспечения сырьем и утилизации отходов. Радикально изменить парадигму существования человечества невозможно, так как добывать сырье и утилизировать отходы приходится сегодня только на Земле, поэтому необходимо ее скорректировать, например, путем новой технологии получения энергии, при которой на единицу массы сырья будет производиться на несколько порядков больше энергии и меньше отходов.

Для получения заметного эффекта снижения давления на природу при производстве энергии, производимой в настоящее время, главным образом за счет сжигания углеводородов, долю экологически чистых энергоисточников, как представляется, необходимо увеличить до 50–70 %. При этом возобновляемые источники энергии, солнечная и ветровая, с этой задачей не справятся, так как у них мала плотность потока энергии [13].

3. Биосферно-совместимое производство энергии

Современная энергетика является одним из основных элементов среды жизнедеятельности человека, которая формирует техносферу, состоящую из элементов биосферы, претерпевших антропогенные изменения либо созданных в результате сознательной деятельности человека. Это приводит к так называемой биотехносфере с глобальными экологическими проблемами, включая также возможное исчерпание в будущем природных ресурсов. Строго говоря, современную энергетика, основу которой составляет углеводородная энергетика, вряд ли можно признать совместимой с биосферой, прежде всего из-за выбросов парниковых и других вредных газов, а также загрязняющих веществ в виде золы и сточных вод. При этом объем этих сбросов и выбросов по некоторым веществам становится близким к объему природных выбросов в результате вулканической деятельности, выхода газов из разломов горных пород, болот, а иногда и превосходит их.

Другим аспектом является сброс тепла в атмосферу, возникающего при работе тепловых и атомных электростанций, для рассеивания которого требуются большие площади водоемов или градирни. При этом в самих водоемах под воздействием этого тепла происходят такие процессы, как уменьшение растворенного в воде кислорода, изменение экосистем, прежде всего, флоры и фауны.

Возобновляемые источники энергии также не свободны от воздействий на биосферу, особенно если рассматривать их полный жизненный цикл. С ним связаны и выбросы парниковых газов, шумы и вибрации, а также потери больших площадей земли либо в результате создания водохранилищ для гидроэлектростанций, либо из-за низкой плотности потока энергии для солнечных и ветровых электрогенераторов. Таким образом, говоря о биосферной совместимости производства энергии, необходимо провести комплексный анализ воздействия источника энергии на окружающую среду.

За тысячелетнюю историю человек при сжигании углеводородов израсходовал около 275 млрд т атмосферного кислорода, 80 % из которых израсходовано в последние 50 лет [14]. Масса атмосферы $5 \cdot 10^{15}$ т, в ее составе ~ 21 % кислорода, и его интегральное потребление за всю историческую эпоху невелико. Сегодня ежегодное мировое продуцирование кислорода составляет около 200 млрд т, при этом его потребление для сжигания углеводородов уже составляет около 20 млрд т. Следует отметить, что сокращение лесных массивов в результате их вырубки ведет к дальнейшему снижению годового производства кислорода.

За весь XX в. от всех видов хозяйственной деятельности в атмосферу поступило около 360 млрд т CO_2 , и его концентрация в атмосфере возросла. Ежегодно выбрасывается в атмосферу ~ 30 млрд т CO_2 , ~ 230 млн т CO , ~ 150 млн т SO_2 . В биосферу поступает ~ 120 млн т золы и ~ 250 млн т мелкодисперсных аэрозолей. Мировой океан и растительность суши не успевают поглощать техногенный углекислый газ, в результате чего его содержание в атмосфере постоянно

увеличивается. Так, доля CO₂ в атмосфере в 1900 г. составляла 0,0003, что в пересчете эквивалентно ~ 1 500 млрд т CO₂, в настоящее же время эта доля равна ~ 0,0004 и ~ 2 000 млрд т, соответственно.

Конечно, все эти антропогенные загрязнения поступают в биосферу не только в результате производства энергии, однако на долю тепловых электростанций, использующих в качестве топлива углеводороды, приходится около 43 %.

К антропогенным загрязнениям от производства энергии можно также отнести шумы и вибрации, которые особенно характерны для ветрогенерации электроэнергии.

Если же говорить о ресурсных проблемах современной энергетики, то в настоящее время достаточно точно известны запасы угля, нефти и газа, известна интенсивность их использования и, следовательно, просто вычисляется срок исчерпания этого первичного энергетического ресурса, поскольку обнаружение новых месторождений углеводородного сырья маловероятно. Хотя совершенствование технологий сможет незначительно отодвинуть срок их исчерпания, однако не изменит общую картину – в течение нескольких ближайших поколений запасы нефти и газа в основном будут исчерпаны [10].

В табл. 1 представлены оценки сроков исчерпания запасов современных углеводородных энергоисточников. Погрешности оценок ~ 50–70 лет соизмеримы со временем жизни одного-двух поколений людей.

Таблица 1. «Шагреновая кожа» современных энергоисточников

Энергоноситель	Мир			Россия		
	Запасы	Потребление в год	Срок исчерпания, лет	Запасы	Потребление в год	Срок исчерпания, лет
Нефть, млрд т	232	4,85	~ 50	13	0,5	25–30
Газ, трлн м ³	187	3,7	~ 50	40–50	0,6–0,7	60–70
Уголь, млрд т	~ 1 000	8	~ 120	150–170	0,35	~ 450
РТН с открытым ЯТЦ, тыс. ГВт(э)·год ^{*)}	~ 60	0,45	130	~ 6	0,045	130
РБН с замкнутым ЯТЦ, тыс. ГВт(э)·год ^{*)}	~ 10 000	~ 10	> 1 000	~ 1 000	~ 1	> 1 000

^{*)} Для 10 млн т U. Запасы урана в мире оценены в количестве 8 млн т со стоимостью извлечения < 130 \$/кг (в России 0,635 млн т) и 10 млн т со стоимостью извлечения < 260 \$/кг.

4. Биосферная совместимость атомной энергетики

Современная ядерная энергетика, основу которой составляют энергоблоки на тепловых нейтронах в открытом топливном цикле, также не в полной мере отвечает параметрам биосферной совместимости, хотя и не выбрасывает в атмосферу CO₂, SO₂ и NO_x. Для нее присущи многие из вышеперечисленных факторов, главными из которых являются ресурсные ограничения, которыми она в виде ²³⁵U обеспечена примерно на столетие, и проблемы отработанного ядерного топлива (ОЯТ), масса которого в течение последних трех десятилетий увеличилась примерно в четыре раза, а масса переработанного только в два [15].

Известно мнение о развитии атомной энергии Э. Ферми, человека с мировой известностью и авторитетом. Основные требования к атомной энергетике были сформулированы им еще в 1947 г. и до сих пор сохранили свою актуальность.

В научной среде они известны как «Мечта Ферми» (Fermi's Dream): безопасность, экономичность, решение проблем радиоактивных отходов и нераспространения ядерного оружия [16]. В существующей атомной энергетике с реакторами на тепловых нейтронах и открытым ядерным топливным циклом (ЯТЦ) эти четыре условия одновременно никогда не выполнялись. Действительно, на реакторах были аварии, требовавшие эвакуации населения, количество отработанного ядерного топлива (ОЯТ) и связанные с ним проблемы накапливались и продолжают накапливаться, а их решение откладывалось на неопределенное будущее.

В то же время для РБН в составе двухкомпонентной ядерной энергетической системы с тепловыми реакторами в замкнутом ЯТЦ могут быть выполнены все четыре требования Э. Ферми:

– **Безопасность.** РБН – реакторы с внутренне присущей безопасностью, не имеющие запаса реактивности, который мог бы реализоваться при запроектной аварийной ситуации, поэтому исключается необходимость отселения населения, т. е. последствия аварии не выходят за пределы промышленной площадки.

– **Экономичность.** Это требование стало одной из причин, по которой атомная энергетика в СССР не достигла прогнозируемых уровней развития, поскольку ей приходилось соревноваться с большим количеством дешевого углеводородного топлива в стране. При разработке РБН выдвинуто требование конкурентоспособности не только по отношению к ВВЭР, но и к тепловым станциям и возобновляемым источникам. По мере удорожания углеводородов за счет сокращения запасов конкурентоспособность будет только увеличиваться. Если в ближайшем будущем законодательно будет ограничено использование углеводородного сырья, например угля из-за загрязнения окружающей среды, то иной энерготехнологии, кроме РБН с замыканием ЯТЦ, для масштабного производства энергии в мире не останется, по крайней мере, до появления термоядерной технологии.

– **Нераспространение.** В настоящее время мир уже обладает огромным потенциалом ядерного распространения, который возникает из взаимосвязи растущих и все более распространяемых знаний о ядерном оружии, расширения и совершенствования промышленных технологий в целом и накопления в огромных количествах ядерных материалов. Каждый из почти 400 полноразмерных легководных ядерных реакторов, работающих сегодня в мире, нарабатывает ~ 0,2 т плутония в год. Вместе с тем в мире уже сегодня функционирует международный режим ядерного нераспространения, основой которого является Договор о нераспространении ядерного оружия. Вместе с этими существующими институциональными мерами для РБН с замкнутым ЯТЦ предложены эффективные технологические внутренние барьеры, препятствующие нарушениям режима ядерного нераспространения [17,18]. Важнейшим из таких барьеров является исключение из топливного цикла разделительного производства – наиболее уязвимого элемента с точки зрения распространения.

– **Решение проблем высокоактивных отходов.** Технологии замкнутого ЯТЦ решают проблемы как образующегося ОЯТ, так и переработки уже накопленного. В настоящее время предложен ряд решений по хранению и захоронению РАО и развивается единая государственная система обращения с РАО.

Текущие годовые эффективные дозы облучения от выбросов БН-600 и БН-800 ($1,58 \cdot 10^{-7}$ Зв/год) сопоставимы с облучением населения от выбросов АЭС ВВЭР и на 1–2 порядка ниже, чем от выбросов АЭС РБМК [19], выводы об образовании РАО на РБН пока преждевременны, так как мал объем накопленной информации. Пока РБН формируют ~ 3 % жидких и ~ 1,4 % твердых радиоактивных отходов от всех АЭС РФ [20].

Таким образом, выполняя требования Э. Ферми, энергетическая система на основе РБН с замкнутым ЯТЦ позволит существенно увеличить долю экологически чистой атомной энергетике в энергетическом балансе и тем самым решить проблемы биосферной совместимости ядерной энергетике. Генеральный директор

Госкорпорации «Росатом» отмечал в своем выступлении в 2017 г. на конференции МАГАТЭ «Ядерная энергетика в 21-м веке»: «Замыкание топливного цикла позволит мирному атому стать экологически безопасным источником энергии с практически неисчерпаемым на многие тысячелетия ресурсом». Биосферная совместимость РБН с замкнутым ЯТЦ с окружающей средой позволит устойчиво их эксплуатировать в России и столь же успешно экспортировать в государства, которые решат развивать свои энергетические системы на основе таких реакторов [21].

5. Формирование общественного мнения и взаимодействие с населением

Практическое продвижение энергетических систем на основе РБН с замыканием ЯТЦ сегодня остро нуждается в общественной поддержке. В ряде публикаций отмечается, что нейтрального отношения или молчаливой поддержки уже недостаточно, необходимо формировать востребованное отношение [20–25]. Для этого следует использовать простые и понятные аргументы, из которых гражданин, далекий от рассматриваемых в настоящей работе проблем, запомнит один или два [26]. При разъяснении требований Э. Ферми необходимо подчеркивать, что решены проблемы ядерной и радиационной безопасности [27] быстрых реакторов с замкнутым ЯТЦ: в частности, обеспечена надежность и безопасность транспортировок при любых аварийных ситуациях [28], нормальная радиологическая обстановка в регионах расположения предприятий ГК «Росатом», которая в разы или даже на порядки меньше допустимых нормативных величин [29], доступность систематизированной информации для информирования населения [30]. В соответствии с действующим российским законодательством и рекомендациями МАГАТЭ следует обязательно информировать население о развитии атомной энергетики и строительстве тех или иных объектов использования атомной энергии [31].

6. Заключение

Рассмотрение биосферной совместимости быстрых реакторов с замкнутым ЯТЦ показывает, что они могут служить основой для устойчивого и безопасного развития биотехносферы на основе снабжения человечества экологически чистой энергией с топливообеспечением на многие столетия. Замыкание ЯТЦ с захоронением радиоактивных отходов в радиационно-эквивалентном и онко-эквивалентном состоянии по отношению к добываемому урановому сырью обеспечивает экологическую совместимость с окружающей средой.

Безопасность быстрых реакторов основана на физических принципах внутренне присущих этому типу реакторов, поскольку у них нет запаса реактивности, который мог бы реализоваться при запроектной аварийной ситуации и поэтому исключается необходимость отселения населения, т. е. последствия не выходят за пределы промышленной площадки. Выбросы в атмосферу не превышают соответствующих параметров ВВЭР.

Для формирования общественной поддержки развития атомной энергетики необходима целенаправленная информационная работа с разными группами населения, а самое главное – обучение школьников и молодежи с целью воспитания экологически грамотного населения, не подверженного беспричинной радиофобии.

7. Список литературы

1. *Розанцева, Л.* К вопросу о биосферно-совместимых городах / Л. Розанцева. – 2015. – URL: <https://proza.ru/2015/12/15/626/> (дата обращения: 01.04.2023)
2. *Казаков, П. Н.* Принципы биосферной совместимости среды жизнедеятельности. Методологические основы / П. Н. Казаков // Сетевое издание «Бюллетень Экокульт», 2013. – URL: http://omskmark.moy.su/publ/bulletin_ecocult/ecoprom_novelty/2013_kazakov_p_n_principles_of_ecological_compatibility_of_the_living_environment/61-1-0-746 (дата обращения: 15.03.2023)

3. Хейердал, Т. Уязвимое море / Т. Хейердал. – Л. : Гидрометеиздат, 1973. – С. 14.
4. Пределы роста / Д. Х. Медоуз, Д. Медоуз, Й. Рандерс, В. Беренс. – М. : МГУ, 1991.
5. Пределы роста. 30 лет спустя / Д. Х. Медоуз, Й. Рандерс, Д. Медоуз. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2007.
6. Мировая энергетика – 2050 (Белая книга) / В. В. Бушуев, А. М. Мастепанов, Н. К. Куричев [и др.]. – М. : Издательский дом «Энергия», 2011.
7. Данилов-Данильян, В. И. Устойчивое развитие и нескончаемые дискуссии о нем / В. И. Данилов-Данильян // Экологический ежегодник. – 2008. – № 2. – С.6–13.
8. Пономарев, Л. И. Без ядерной энергетике у нынешней цивилизации нет будущего / Л. И. Пономарев // Атомный эксперт. – 2018. – № 3–4. – С.70–75.
9. Двухкомпонентная ядерная энергетическая система с тепловыми и быстрыми реакторами в замкнутом ядерном топливном цикле / под ред. Н. Н. Пономарева-Степного. – М. : Техносфера, 2016. – 139 с. – URL: http://elib.biblioatom.ru/text/dvuhkomponentnaya-yadernaya-systema_2016/ (дата обращения: 02.04.2023)
10. Белая книга ядерной энергетике. Замкнутый ЯТЦ с быстрыми реакторами / под общ. ред. проф. Е. О. Адамова. – М. : Изд-во АО «НИКИЭТ», 2020. – 502 с.
11. Двухкомпонентная ядерная энергетическая система как переход к новой технологической платформе ядерной энергетике / В. В. Шидловский, Н. В. Горин, Е. В. Кузнецов [и др.] // ВАНТ. Серия «Ядерно-реакторные константы». – 2022. – Вып. 3. – С. 62–68.
12. Paving the Way to Green Status for Nuclear Power / V. Pershukov, V. Artisyuk, A. Kashirsky // Sustainability. – 2022. – Vol. 14. – No. 15. – DOI: 10.3390/su14159339.
13. Капица, П. Л. Энергия и физика: Доклад на научной сессии, посвященной 250-летию Академии наук СССР, Москва, 8 октября 1975 г. / П. Л. Капица // Вестник АН СССР. – 1976. – № 1. – С. 34–43. – URL: http://vivovoco.astronet.ru/VV/PAPERS/KAPITZA/KAP_10.HTM (дата обращения: 13.01.2021).
14. Тетельман, В. В. Физические основы традиционной и альтернативной энергетике / В. В. Тетельман, В. А. Язев. – Долгопрудный : Издательский дом «Интеллект», 2014.
15. Стратегия фракционирования ВАО от переработки ОЯТ / В. А. Кашеев, М. В. Логунов, А. Ю. Шадрин [и др.] // Радиоактивные отходы. – 2022. – № 2 (19). – С. 6–16. – DOI: 10.25283/2587-9707-2022-2-6-16.
16. Водолага, Б. К. Лев Феоктистов: Вспоминая прошлое, думал о будущем / Б. К. Водолага, В. Н. Кузнецов. – Екатеринбург : Банк культурной информации, 2022.
17. Барьеры на путях ядерного распространения при экспорте российских быстрых реакторов с замкнутым ЯТЦ (на примере БРЕСТ ОД-300) / Н. В. Горин, Е. В. Кузнецов, В. П. Кучинов [и др.] // Вестник НЯЦ. – 2021. – Вып. 4(88). – С. 16–21.
18. Обнаружение признаков нарушений обязательств по ядерному нераспространению государством-импортером быстрого реактора с установками замкнутого ЯТЦ / Н. В. Горин, А. Л. Карманов, В. Н. Первиненко [и др.] // Атомная энергия. – 2021. – Т.131. – Вып. 4. – С. 227–232.
19. Определение радионуклидного состава и оценка доз облучения населения за счет атмосферных выбросов российских АЭС / А. А. Екидин, М. Е. Васянович, А. В. Васильев [и др.] // Траектория исследований – человек, природа, технологии. – 2022. – № 2(2). – С. 53–63. – DOI 10.56564/27825264_2022_2_53. – EDN YWYUPO
20. Екидин А. А. Применение удельного показателя для оценки объемов образования РАО при нормальной эксплуатации АЭС России / А. А. Екидин, К. Л. Антонов // Радиоактивные отходы. 2020. № 2 (11). С. 66–74. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-2-66-74.
21. (2022) Export prospects of fast reactors desined in Russia with closed nuclear fuel cycle facilities / N. V. Gorin, V. P. Kuchinov, A. V. Krivtsov [et al.] // Nuclear Energy and Technology 8(3): 153–159. – URL: <https://doi.org/10.3897/nucet.8.80757> (дата обращения: 01.03.2023)
22. Харви, Ш. Стимулирование интереса молодежи к ядерной энергетике / Ш. Харви // Бюллетень МАГАТЭ. – Март. 2021. – С. 20–21.
23. Как заставить мир посмотреть на ядерную отрасль под другим углом / С. Бильбао-и-Леон // Бюллетень МАГАТЭ. – Март. 2021. – С. 28–29.
24. Н. В. Горин, А. А. Екидин, В. П. Кучинов [и др.] / Формирование общественного мнения в интересах развития и признания атомной энергетике экологически чистым источником энергии // Траектория исследований – человек, природа, технологии. – 2022. – № 1 (1). – С. 102–111.

25. Воспитание у населения востребованного отношения к атомной энергетике / Н. В. Горин, Н. Л. Абрамова, С. В. Нечаева, О. С. Головихина // Государственное управление. Электронный вестник. – 2021. – № 87. – С. 7–18. DOI: 10.24412/2070-1381-2021-87-7-18.
26. Аргументы для разных категорий населения в интересах формирования поддержки развития атомной энергетике / Н. В. Горин, Е. В. Кузнецов, Б. К. Водолага [и др.] // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2023 по направлению «Инновационные ядерные технологии»: сб. науч. тр. всерос. науч.-практ. конф. 31 января – 2 февраля 2023 г. – М. : НИЯУ МИФИ; Снежинск: СФТИ НИЯУ МИФИ, 2023. – 149 с. – С. 24–28. – URL: https://www.sphti.ru/wp-content/uploads/2023/04/%D1%82%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%8B_2023.pdf (дата обращения: 01.03.2023).
27. Горин, Н. В. Обоснование ядерной и радиационной безопасности контейнера для отработавших ТВС реакторов АМБ Белоярской АЭС / Н. В. Горин, Я. З. Кандиев, Ю. И. Чернухин // Атомная энергия. – 2006. – Т. 100. – Вып.6. – С. 423–428.
28. Анфалова, О. В. Вывоз ОЯТ реакторов АМБ-100 и АМБ-200 Белоярской АЭС на ПО «Маяк» / О. В. Анфалова, Н. В. Горин, В. С. Краев // Вопросы радиационной безопасности. – 2019. – № 2. – С. 47–52.
29. Панченко, С. В. Радиологическая обстановка в регионах расположения предприятий Росатома / С. В. Панченко, И. И. Линге, К. В. Сахаров. – М. : «САМ полиграфист», 2015.
30. Систематизация информации для работы с населением в интересах атомной энергетике / О. С. Головихина, Н. В. Брехова, Н. В. Горин, Д. В. Шмаков // Вестник ЧГПУ. – 2018. – № 1. – С. 58–66.
31. Привлечение заинтересованных сторон к решению ядерных вопросов. INSAG-20 // Доклад Международной группы по ядерной безопасности. – Вена : МАГАТЭ, 2015. – 21 с.

Сведения об авторах:

Горин Николай Владимирович, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. акад. Е. И. Забабахина», к.ф.-м.н., в.н.с.; 456770, Челябинская обл., г. Снежинск, ул. Васильева, 13. Эл. почта: vkuchinov@bk.ru n.gorin@vniitf.ru

Кучинов Владимир Петрович, НИЯУ МИФИ, доцент; 115409, Москва, Каширское ш., 31.

Декусар Виктор Михайлович, АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»; 249033, г. Обнинск, Калужская обл., пл. Бондаренко, 1.

Шидловский Владимир Владиславович, АО «Прорыв», к. т. н, нач. управления; 107140, Москва, ул. Малая Красносельская 2/8, корп. 4.

BIOSPHERE COMPATIBILITY OF FAST REACTORS WITH A CLOSED NUCLEAR FUEL CYCLE

N. V. Gorin¹, V. P. Kuchinov², V. M. Dekusar³, V. V. Shidlovsky⁴

¹ FSUE “RFNC-VNIITF named after Academ. E.I. Zababakhin”, Snezhinsk, Chelyabinsk Reg., Russia

² National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

³ A.I. Leypunsky Institute for Physics and Power Engineering, Obninsk

⁴ JSC “Proryv”, Moscow, Russia

Any human activity has a negative impact on the environment, the greatest contribution to which is made by energy production. The main challenges of our time that threaten sustainable development – global warming, the greenhouse effect arise from emissions of carbon dioxide into the atmosphere and general environmental pollution. It is shown that the main modern environmental pollutants – objects of hydrocarbon energy, industry and transport do not satisfy biosphere compatibility and threaten the sustainable development of mankind. Sustainable development requires environmentally friendly energy in the amount of at least ten billion tons per year ($>3\cdot5\cdot10^{20}$ J/year). Renewable energy sources (solar, wind, etc.) will not cope with this task, since they have a low energy flow density. We need a new technology that produces several orders of magnitude more energy and less waste per unit mass of raw materials. It is shown that nuclear power engineering with fast neutron reactors and closed NFC is a technology with better biosphere compatibility compared to other renewable energy sources.

Key words: biosphere compatibility; sustainable development; fast reactors; closed fuel cycle.

References

1. Rozantseva, L. K voprosu o biosferno-sovmestimyykh gorodakh [On the Issue of Biosphere-Compatible Cities] / L. Rozantseva. – 2015. – URL: <https://proza.ru/2015/12/15/626/> (in Russian) (accessed: 01.04.2023).
2. Kazakov, P. N. Printsipy biosfernoi sovmestimosti sredy zhiznedeyatel'nosti. Metodologicheskie osnovy [Principles of Ecological Compatibility of the Living Environment] / P. N. Kazakov // Setevoe izdanie «Byulleten' Ekokult» [Web publishing “Bulletin Ecocult”], 2013. – URL: http://omskmark.moy.su/publ/bulletin_ecocult/ecoprom_novelty/2013_kazakov_p_n_principles_of_ecological_compatibility_of_the_living_environment/61-1-0-746 (in Russian) (accessed: 15.03.2023).
3. Hejerdal, T. Uiazvimoe more [Vulnerable Sea] / T. Hejerdal – L.: Gidrometeoizdat [Meteorological Publisher], 1973. – P. 14 (in Russian).
4. The Limits to Growth / D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers, W. Behrens. – New York: University Books, 1972.
5. The Limits to Growth. The 30-Year Update / D. H. Meadows, J. Randers, D. L. Meadows. – Vermont: Chelsea Green Publishing, 2004.
6. Mirovaia energetika – 2050 (Belaia kniga) [World Power – 2050 (White Book)] / V. V. Bushuev, A. M. Mastepanov, N. K. Kurichev [et al.]. – Moscow: Izdatelskiy dom «Energiya» [Publishing house «Energy»], 2011 (in Russian).
7. Danilov-Danilyan, V. I. Ustoichivoye razvitiie i neskonchaiemyie diskussii o nem [Sustainable Development and Never-ending Discussions about It] / V. I. Danilov-Danilyan // Ekologicheskii ezhegodnik [Ecological Annual]. – 2008. – No. 2. – pp. 6–13 (in Russian).
8. Ponomarev, L. I. Modern Civilization Doesn't Have Future without Nuclear Energy / L. I. Ponomarev // Nuclear Expert. – 2018. – No. 3–4. – pp. 70–75 (in Russian).

9. Dvuhkomponentnaia iadernaia energeticheskaiia sistema s teplovymi i bystryimi reaktorami v zamknutom iadernom toplivnom tsikle [Two-component Nuclear Power System with Thermal and Fast Reactors in a Closed Nuclear Fuel Cycle] / N. N. Ponomarev-Stepnoy (Eds.). – M.: Tekhnosfera [Moscow: Technospere], 2016, p. 139. – URL: http://elib.biblioatom.ru/text/dvuhkomponentnaya-yadernaya-systema_2016/ (in Russian). (accessed: 02.04.2023)
10. Belaia kniga iadernoi energetiki. Zamknutyi IaTTs s bystryimi reaktorami [White Book of Nuclear Energy. Closed Nuclear Fuel Cycle with Fast Reactors] / Adamov E. O. (Ed.). – M: Izdatelstvo AO «NIKIET» [Publisher JSC “NIKIET”], 2020 (in Russian) – 502 p.
11. Two-Component Nuclear Power System as a Transition Towards a New Technological Platform for Nuclear Power / V. V. Shidlovsky, N. V. Gorin, E. V. Kuznetsov [et al.] // Problems of Atomic Science and Technology. Series: Nuclear and Reactor Constants. – 2022. – No. 3. – pp. 62–68. – URL: <https://vant.ippe.ru/en/year2022/3/radiation-technologies/2223-6.html> (accessed: 16.11.2022)
12. Paving the Way to Green Status for Nuclear Power / V. Pershukov, V. Artisyuk, A. Kashirsky // Sustainability. – 2022. – Vol. 14. – Is. 15. – DOI: 10.3390/su14159339.
13. Kapica, P. L. Energy and Physics. Report to the scientific session on the 250-th Anniversary of the USSR Academy of Sciences. 08.10.75 / P. L. Kapica // Vestnik AN USSR. – 1976. – No 1. – pp. 34–43. – Moscow. – URL: http://vivovoco.astronet.ru/VV/PAPERS/KAPITZA/KAP_10.HTM (accessed: 13.01.2021)
14. Tetelman, V. V. Fizicheskie osnovy traditsionnoi i alternativnoi energetiki, [Physical Foundations of Traditional and Alternative Energy] / V. V. Tetelman, V. A. Yazev. – Dolgoprudny: Izdatelskij dom «Intelekt» [Publisher: Intellect], 2014 (in Russian).
15. Strategy for the Fractionation of HLW from SNF Reprocessing / V. A. Kashcheev, M. V. Logunov, A. Yu. Shadrin [et al.] // Radioactive Waste. – 2022. – No. 2 (19). – pp. 6–16. DOI: 10.25283/2587-9707-2022-2-6-16 (in Russian).
16. Vodolaga, B. K. Lev Feoktistov: Vspominaya proshloe, dumal o budushchem [Lev Feoktistov: Remembering the Past, Thought about the Future] / B. K. Vodolaga, V. N. Kuznetsov. – Yekaterinburg: Bank kul'turnoy informatsii [The Bank of Cultural Information], 2022 (in Russian).
17. Bariery na putyakh iadernogo rasprostraneniia pri eksporte rossiiskikh bystrykh reaktorov s zamknutym IaTTs (na primere BREST OD-300) [Barriers on Ways of Nuclear Distribution at Export of the Russian Fast Reactors with Closed Nuclear Fuel Cycle (on an example Brest OD-300)] / N. V. Gorin, E. V. Kuznetsov, V. P. Kuchinov [et al.] // Vestnik NIA Ts [The Herald of the National Nuclear Center]. – 2021. – No. 4(88). – pp. 16–21, doi.org/10.52676/1729-7885-2021-4-16-21 (in Russian).
18. Detection the Violations of Nuclear Non-proliferation Obligations by the State Importing Fast Reactor with Closed Nuclear Fuel Cycle / N. V. Gorin, A. L. Karmanov, V. N. Pervinenko [et al.] // Atomic Energy. – 2021. – Vol. 131. – No. 4. – pp. 227–232.
19. Determination of the Radionuclide Composition and Assessment of Dose of Population Exposure Due to Atmosphere Emission from Russian NPPS / A. A. Ekinin, M. E. Vasyanovich, A. V. Vasilyev [et al.] // Research Trajectory – Human, Nature, Technology (In Russian). – 2022. – No. 2 (2). – pp. 53–63. – DOI 10.56564/27825264_2022_2_53. – EDN YYWYPO.
20. Ekinin, A. A. Application of a Specific Indicator for the Estimation of Radioactive Wastes Generation Volumes During Normal Operation of Nuclear Power Plants in Russia / A. A. Ekinin, K. L. Antonov // Radioactive Waste. – 2020. – No. 2 (11). – pp. 66–74. (In Russian). DOI: 10.25283/2587-9707-2020-2-66-74.
21. Gorin N. V., Kuchinov V. P., Krivtsov A. V., Orlov A. I., Shidlovskiy V. V., Matveeva D. B. Export Prospects of Fast Reactors Designed in Russia with Closed Nuclear Fuel Cycle Facilities. Nuclear Energy and Technology, 2022, no. 8(3), pp. 153–159, <https://doi.org/10.3897/nucet.8.80757>
22. Harvey, S. Spurring Youth Interest in Nuclear / S. Harvey // IAEA Bulletin. – 2021. – pp. 20–21.
23. Finding a New Voice for Nuclear / Sama Bilbao y León // IAEA Bulletin. – 2021. – pp. 28–29.
24. Forming of public opinion in the interests of the development and recognition of nuclear power as an environmentally friendly source of energy / N. V. Gorin, A. A. Ekinin, V. P. Kuchinov [et al.] // Research Trajectory – Human, Nature, Technology (In Russian). – 2022. – No. 1 (1). – pp. 102–111.
25. Fostering Respectful Attitude towards Nuclear Industry / N. V. Gorin, N. L. Abramova, S. V. Nechaeva, O. S. Golovikhina // Public Administration. E-journal. – 2021. – No. 87. – pp. 6–24. – DOI: 10.24412/2070-1381-2021-87-7-18.

26. Arguments for Different Categories of the Population in the Interests of Support Formation of the Development of Nuclear Energy / N. V. Gorin, E. V. Kuznetsov, B. K. Vodolaga [et al.] // Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference, 2023. – pp. 24-28, https://www.sphti.ru/wp-content/uploads/2023/04/%D1%82%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%8B_2023.pdf.
27. Gorin, N. V. Validation of Nuclear and Radiation Safety of a Container for Spent AMB Reactor Fuel Assemblies at the Beloyarskaia Nuclear Power Plant / N. V. Gorin, Ya. Z. Kandiev, Yu. I. Chernukhin // Atomnaia energiya [Nuclear Energy]. – 2006. – Vol. 100. – No. 6. – pp. 423–428.
28. Anfalova, O. V. Transport of the AMB-100 and AMB-200 Reactors SNF from Beloyarsk NPP to PA «Mayak» / O. V. Anfalova, N. V. Gorin, V. S. Kraev // Radiation Safety Problems. – 2019. – No. 2. – pp. 47–52.
29. Panchenko, S. V. Radiologic Environment in the Regions with Rosatom Enterprises / S. V. Panchenko, I. I. Linge, K. V. Sakharov [et al.]. – M.: «Sam poligrafist» [Self Print], 2015.
30. Customizing Information for the Work with Population to the Benefit of Nuclear Power Engineering / O. S. Golovikhina, N. V. Brehova, N. V. Gorin, D. V. Shmakov // the Herald of Chelyabinsk State Pedagogical University. – 2018. – No. 1. – pp. 58–66.
31. Stakeholder Involvement Throughout the Life Cycle of Nuclear Facilities, IAEA, https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1520_web.pdf.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК РАСЧЕТА ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВА BLEVE

Н. Н. Старовойтова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург

В статье рассматривается такое опасное явление, как взрыв расширяющихся паров кипящей жидкости (BLEVE). Среди наиболее разрушительных аварий, которые могут произойти в химической промышленности, выделяется BLEVE. Он сопровождается достаточными взрывными волнами и избыточным давлением. В статье дается характеристика этого явления и анализируются методики расчета избыточного давления взрыва BLEVE. Главное внимание обращается на различие методик, применяемых в Российской Федерации и во Франции. В основной части статьи дается описание явления BLEVE. Описываются причины его проявления и формулы, используемые в методиках. На основе анализа метода Baker, метода Prugh, метода Planas-Cuchi и методики МЧС показана разница в подходе определения избыточного давления. В заключение кратко разбираются значительные расхождения в результатах из-за термодинамических допущений – это поведение идеального газа и изохорного расширения пара.

Ключевые слова: BLEVE; взрыв; избыточное давление; анализ методик; энергия взрыва; метод Baker; метод Prugh; метод Planas-Cuchi; методика МЧС; Франция; Российская Федерация.

1. Введение

BLEVE (boiling liquid expanding vapors explosion) – это опасное явление, которое происходит при взрыве жидкости, находящейся под давлением. Когда жидкость быстро нагревается и превращается в пар, давление в емкости, где она хранится, может возрасти до критического уровня. Если в этот момент происходит повреждение емкости, например из-за пожара, жидкость быстро испаряется и расширяется, создавая огромное давление. Это может привести к внезапному взрыву.

Примером BLEVE может служить взрыв емкости с газом в железнодорожном вагоне или автотранспорте. При такой аварии газ, находящийся под высоким давлением, быстро вырывается из емкости, превращаясь в огромное облако, которое может взорваться при любом источнике искры или огня. BLEVE может быть особенно опасным в случаях, когда хранятся легковоспламеняющиеся жидкости, такие как бензин или спирт [1].

2. Материалы и методы

Метод Baker допускает, что максимальная энергия, выделяющаяся при взрыве, будет равна количеству энергии, необходимой для повышения давления газа от давления окружающей среды до давления разрыва, учитывая процесс постоянного объема [2, 3].

Энергия взрыва рассчитывается по формуле Brode [4]:

$$E = \frac{(P_1 - P_0) \cdot V}{(\gamma - 1)}, \quad (1)$$

где P_1 – начальное и конечное (окружающее) давление расширяющегося газа, кПа;
 P_0 – начальное и конечное (окружающее) давление расширяющегося газа, кПа;
 V – общий объем газа, м³; γ – его коэффициент теплоемкости равен 1,4 для двухатомных газов, 1,66 для одноатомных газов или 1,33 для паров воды, отн.ед.

Когда взрыв происходит на уровне земли, расчетное значение энергии обычно умножается на 2, чтобы учесть эффекты земли, такие как отражение ударной волны. Масштабированное расстояние (\bar{R}) рассчитывается по формуле:

$$\bar{R} = r \cdot \left(\frac{P_0}{E}\right)^{\frac{1}{3}}, \quad (2)$$

где r – радиус сосуда, м;

P_0 – начальное и конечное (окружающее) давление расширяющегося газа, кПа;

E – энергия взрыва, кДж.

Затем находится профиль давления с использованием графика масштабирования [5]. Важно отметить, что уравнение Brode является лишь грубым приближением реальности, поскольку оно представляет собой энергию, необходимую для сжатия идеального газа при постоянном объеме от P_0 до P_1 .

Метод Prugh имеет некоторое сходство с методом Baker, описанным в предыдущем абзаце [6, 7]. Однако в методе Prugh, в отличие от метода Baker, энергия взрыва рассчитывается исходя из предположения изотермического расширения идеального газа, т. е., когда происходит взрыв, можно предположить, что расширение газа происходит настолько быстро, что не происходит изменений температуры, поэтому процесс идет по изотермическому пути.

Сначала определяется избыточное давление, P_s , по уравнению:

$$P_b = P_s \cdot \left[1 - \frac{0,035 \cdot [\gamma - 1] \cdot [P_s - 101,3]}{\sqrt{\left(\frac{\gamma \cdot T}{M}\right) \cdot [1 + 0,059 \cdot P_s]}} \right]^{\frac{2\gamma}{\gamma - 1}}, \quad (3)$$

где P_s – избыточное давление, кПа;

P_b – давление разрыва сосуда, кПа;

γ – коэффициент теплоемкости расширяющегося газа, отн.ед;

T – абсолютная температура расширяющегося газа, К;

M – молекулярная масса расширяющегося газа, кг/моль.

Затем определяется эквивалентный заряд энергии взрыва по уравнению:

$$W_{TNT} = \frac{(2,4 \cdot 10^{-4} \cdot P_b \cdot V)}{\gamma - 1} \cdot \left[1 - \left(\frac{101}{P_b}\right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right], \quad (4)$$

где P_b – давление разрыва сосуда, кПа;

V – общий объем пара, м³;

γ – коэффициент теплоемкости расширяющегося газа, отн.ед.

«Виртуальное расстояние» определяется на основе кривых максимального избыточного давления P_s , разрыва и эквивалентного заряда W_{TNT} в тротиловом эквиваленте с использованием расстояния на котором мы хотим узнать давление [5]:

$$Z = \frac{R}{W_{TNT}}^{\frac{1}{3}}, \quad (5)$$

где R – расстояние, на котором мы хотим узнать давление, м;

W_{TNT} – эквивалентный заряд TNT.

Однако, в отличие от метода Baker, здесь вводится виртуальное расстояние для фиктивного перемещения центра взрыва «против ветра» по отношению к поверхности расширяющегося газа, что позволяет использовать традиционный тротильный эквивалент. Масштабированное расстояние, Z , для взрыва находится по графику, при

помощи масштабируемого давления [3]. Полученное таким образом значение виртуального расстояния затем нужно, чтобы получить масштабированное расстояние Z модели TNT, где должно быть определено пиковое избыточное давление по графику [6, 7].

Метод Planas-Cuchi учитывает реальную работу расширения, совершаемую при переходе всего содержимого сосуда (включая как паровую, так и жидкую фазу) из состояния взрыва в конечное состояние (соответствующее атмосферному давлению 101 кПа). Поскольку считается, что процесс адиабатический, то эта работа должна быть равна изменению внутренней энергии содержимого сосуда [8].

Реальная работа по расширению равна $P_0 \cdot \Delta V$, где ΔV представляет собой изменение объема всего содержимого сосуда при переходе его из состояния взрыва в гипотетическое конечное состояние. С другой стороны, для адиабатического процесса эта работа должна быть равна изменению внутренней энергии содержимого сосуда, ΔU .

Эта задача может быть решена графически. На рис. 1 показано изменение U в зависимости от ситуации взрыва и различных условий, определяемых общим давлением 101 кПа и различными условиями равновесия жидкость – пар, соответствующими различным значениям фракции пара. На том же рисунке изменение $P_0 \cdot \Delta V$ также было нанесено на график в зависимости от доли пара, соответствующей теоретическому конечному условию. Пересечение обеих прямых соответствует условию нахождения E по уравнению [9].

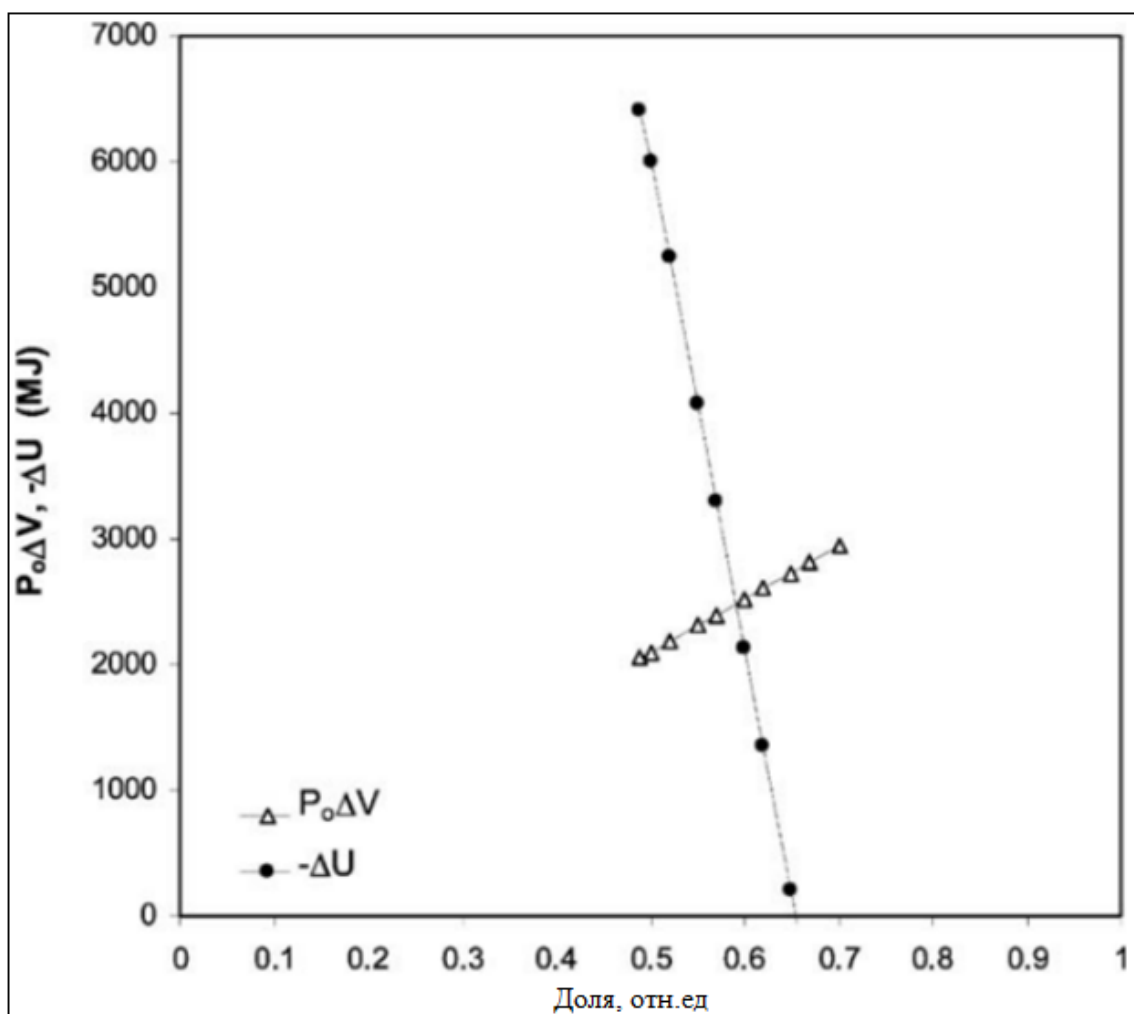
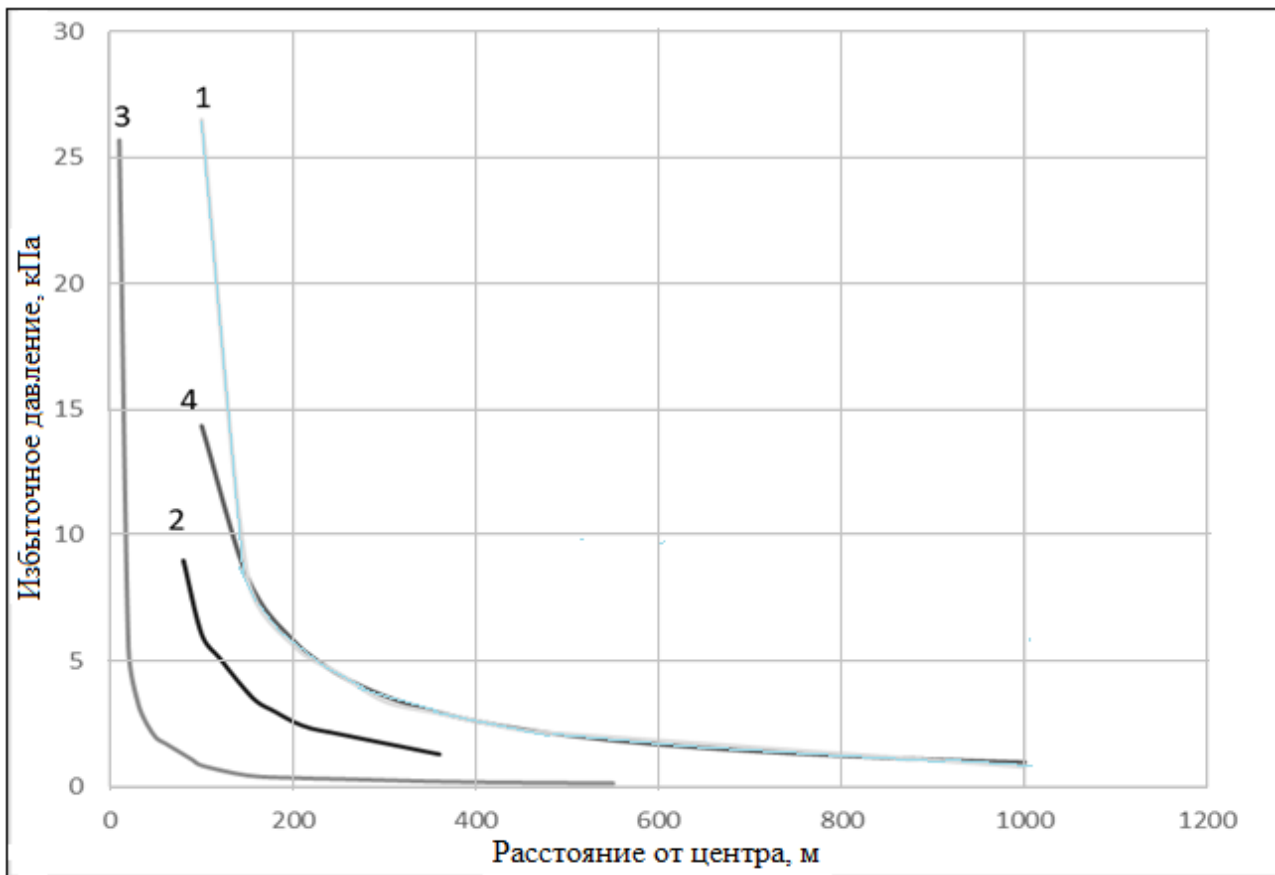


Рис. 1. Изменение U и $P_0 \cdot \Delta V$ в зависимости от доли фракции пара теоретического конечного условия

3. Результаты и выводы

Расчет избыточного давления был произведен по графику на рис. 1.

Для сравнения французских методов с российской методикой МЧС, а также проверки полученных результатов была смоделирована авария и сопоставлены профили избыточного давления в зависимости от расстояния от центра взрыва. Рассмотренные варианты различаются по расстояниям, на которых рассчитывается избыточное давление: сферический сосуд объемом 125 м^3 со сжиженным пропаном. На рис. 2 показаны профили избыточного давления в зависимости от расстояния от центра резервуара объемом 125 м^3 для трех методов и методики МЧС.



1 – Метод Векер, 2 – Метод Prugh, 3 – Метод Planas-Cuchi, 4 – Методика МЧС

Рис. 2. Профили избыточного давления в зависимости от расстояния от центра резервуара объемом 125 м^3

Сначала можно заметить из рис. 2, что модели Baker и Planas-Cuchi дают большие значения избыточного давления, чем модель Prugh и методика МЧС. Однако с увеличением расстояния от центра взрыва разница между моделями становится все меньше. Также при более консервативном подходе метода Baker пороговые расстояния, рассчитанные по этой процедуре, всегда дают большие расстояния по сравнению с расстояниями Prugh.

В методике МЧС используется только два параметра, это приведенная масса и эффективная энергия взрыва. При этом методы: Baker, Prugh и Planas-Cuchi используют значительно большее число параметров, учитывающих физические свойства вещества, процесс постоянного объема (Baker), перемещение центра взрыва «против ветра» по отношению к поверхности расширяющегося газа, предполагают изотермический процесс расширения газа (Prugh) и реальную работу расширения, совершаемую при переходе всего содержимого сосуда из состояния взрыва в конечное состояние (Planas-Cuchi).

4. Список литературы

1. Оценка техногенного риска для линейных и площадочных объектов нефтегазодобывающего комплекса / А. П. Бызов, А. В. Андреев, О. Е. Ковязина, М. Т. Пелех // Проблемы управления рисками в техносфере (2). – Санкт-Петербург: 2019. – № 2. – с. 98–104.
2. Explosion Hazards and Evaluation / W. E. Baker, P. A. Cox, J. J. Kulesz [et al.]. – 1st ed. – New York, USA: Elsevier Science, 1983. – 840 p.
3. *Ahlert, R. C.* Guidelines for consequence analysis of chemical releases. Center for Chemical Process Safety / R. C. Ahlert – New York, USA: American Institute of Chemical Engineers (AIChE), 1999. – 320 p.
4. *Brode, H. L.* Blast wave from a spherical charge / H. L. Brode // Physics of Fluids. – 1959. – № 2. – P. 217–229.
5. *Kumar A.* Guidelines for evaluating the characteristics of vapor cloud explosions, flash fires, and bleves. Center for Chemical Process Safety (CCPS) of the AIChE [Текст] / Kumar A. – New York, USA: American Institute of Chemical Engineers, 1994. – 387 p.
6. *Prugh R. W.* Quantitative evaluation of «BLEVE» hazards / R. W. Prugh // J. Fire Protect. Eng. – 1991. – № 3. – P. 9–24.
7. *Prugh R. W.* Quantify BLEVE hazards / R. W. Prugh. // Chem. Eng. Prog. – 1991. – № 87. – P. 66–72.
8. *Planas-Cuchi, E., Salla J.M., Casal J.* Calculating overpressure from BLEVE explosions / Planas-Cuchi E., Salla J.M., Casal J. // J. Loss Prev. Process Ind.. – 2004. – № 17. – P. 431–436.
9. *Planas, E.* BLEVE-Fireball / E. Planas, J. Casal // Handbook of Combustion: Online. – 2010. – P. 1–25.

Сведения об авторах:

Старовойтова Наталья Николаевна, студентка 2 курса магистратуры, направление : «Промышленная безопасность», Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия, starovnatalia1998@gmail.com.

ANALYTICAL COMPARISON OF METHODS FOR CALCULATING THE EXCESS PRESSURE OF AN EXPLOSION BLEVE

N. N. Starovoitova

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg

The article deals with such a dangerous phenomenon as the explosion of expanding vapors of boiling liquid (BLEVE). Among the most devastating accidents that can occur in the chemical industry, BLEVE stands out. It is accompanied by sufficient explosive waves and excessive pressure. The article describes this phenomenon and analyzes the methods of calculating the excess pressure of the BLEVE explosion. The main attention is drawn to the difference between the methods used in the Russian Federation and in France. The main part of the article describes the phenomenon of BLEVE. The reasons for its manifestation and the formulas used in the methods are described. The article, based on the analysis of: Baker method, Push method, Planes-Cuchi method and MOE methodology, shows the difference in the approach of determining excess pressure. In conclusion, significant discrepancies in the results due to thermodynamic assumptions are briefly analyzed – these are the behavior of an ideal gas and the isentropic expansion of steam.

Key words: BLEVE; explosion; overpressure; analysis of techniques; explosion energy; Baker method; Push method; Planes-Cuchi method; MOE methodology; France; The Russian Federation.

References

1. Technogenic risk assessment for linear and site facilities of the oil and gas production complex/A.P. Byzov, A.V. Andreev, O. E. Kovyazina, M.T. Pelekh//Risk management problems in the technical sphere (2). - St. Petersburg: 2019. – № 2. – P. 98–104.
2. Explosion Hazards and Evaluation / W. E. Baker, P. A. Cox, J. J. Kulesz [et al.]. – 1st ed. – New York, USA: Elsevier Science, 1983. – 840 p.
3. Ahlert, R. C. Guidelines for consequence analysis of chemical releases. Center for Chemical Process Safety / R. C. Ahlert – New York, USA: American Institute of Chemical Engineers (AIChE), 1999. – 320 p.
4. Brode, H. L. Blast wave from a spherical charge / H. L. Brode // Physics of Fluids. – 1959. – № 2. – P. 217–229.
5. Kumar A. Guidelines for evaluating the characteristics of vapor cloud explosions, flash fires, and bleves. Center for Chemical Process Safety (CCPS) of the AIChE [Текст] / Kumar A. – New York, USA: American Institute of Chemical Engineers, 1994. – 387 p.
6. Prugh R. W. Quantitative evaluation of «BLEVE» hazards / R. W. Prugh // J. Fire Protect. Eng. – 1991. – № 3. – P. 9–24.
7. Prugh R. W. Quantify BLEVE hazards / R. W. Prugh. // Chem. Eng. Prog. – 1991. – № 87. – P. 66–72.
8. Planas-Cuchi, E., Salla J.M., Casal J. Calculating overpressure from BLEVE explosions / Planas-Cuchi E., Salla J.M., Casal J. // J. Loss Prev. Process Ind.. – 2004. – № 17. – P. 431–436.
9. Planas, E. BLEVE-Fireball / E. Planas, J. Casal // Handbook of Combustion: Online. – 2010. – P. 1–25.

ОБЩЕСТВЕННОЕ СОДЕЙСТВИЕ В ОБЕСПЕЧЕНИИ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЗОНЕ НАБЛЮДЕНИЯ ФГУП «ПО «МАЯК»

В. С. Носовец¹, А. Р. Зигангиров¹, Е. С. Макеева¹, А. А. Екидин²

¹ Уральский федеральный университет им. первого Президента России
Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

² Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

В статье представлены результаты второго года реализации общественной инициативы по формированию независимого источника информации о радиационной ситуации на общественно доступных местах зоны наблюдения крупнейшего в стране предприятия по обращению с радиоактивными и ядерными материалами ФГУП «ПО «Маяк». На обследованных участках мощность AMBIENTНОГО эквивалента дозы находится в диапазоне от 0,05 до 0,12 мкЗв/ч. Техногенный радионуклид ¹³⁷Cs достоверно идентифицирован только на участках, подвергшихся загрязнению в 1957 и 1967 гг. Зафиксированная удельная активность ¹³⁷Cs в почве, ранее загрязненных участков, не превышает 120 Бк/кг. Содержание природных радионуклидов в грунтах и почвах обследованных участков находится в диапазоне от 5 до 18 Бк/кг (для ²²⁶Ra), от 5 до 40 Бк/кг (для ²³²Th) и от 28 до 595 Бк/кг (⁴⁰K).

Ключевые слова: почва; грунт; радионуклиды; активность; мощность дозы; окружающая среда; загрязнение.

1. Введение

Радиационные и ядерные технологии нашли свое применение в различных сферах деятельности человека: в здравоохранении, энергетике, тяжелой и легкой промышленности, транспорте, образовании, обороне государства. Использование источников ионизирующего излучения и делящихся материалов имеет как положительные, так и отрицательные стороны. К позитивным аспектам можно отнести повышение эффективности и результативности производства продукции и оказания услуг во всех сферах применения радиационных и ядерных технологий; стимулирование дальнейших научных исследований в освоении энергии излучения, деления и синтеза ядер; создание новых высокотехнологичных рабочих мест и другие действия, способствующие реализации основных глобальных целей устойчивого развития [1]. Негативные аспекты связаны со специфическими видами воздействия на человека и окружающую среду источников излучения, радиоактивных и ядерных материалов. Серьезность и сложность предсказания последствий облучения организма и радиационного загрязнения окружающей среды делают контроль за радиационной обстановкой практически значимой задачей. Существующие системы радиационного контроля на каждом объекте использования атомной энергии (далее ОИАЭ) гарантируют соблюдение установленных нормативов воздействия. Современные инженерные и организационные решения, применяемые на ОИАЭ, позволяют минимизировать такие воздействия до пренебрежимо малых значений. Органы государственного регулирования, надзора и мониторинга осуществляют непрерывный контроль соблюдения условий безопасности любых технологических процессов с применением источников излучения, радиоактивных и ядерных материалов.

Сложность технологических процессов применения радиоактивных и ядерных материалов определяет необходимость углубленных специальных знаний для их понимания и безопасного обращения. Последствия для биологических объектов от произошедших радиационных аварий понятны только ограниченному количеству

специалистов в области радиоэкологии и радиобиологии. Часть населения такими знаниями не обладает, что становится основанием для опасения большого количества людей за свою безопасность. Подобная неосведомленность также приводит к недоверию к усилиям государственных органов и эксплуатирующих организаций по предупреждению или уменьшению радиационных рисков [2]. Вместе с тем общественная приемлемость радиационных и ядерных технологий является необходимым условием дальнейшего развития в использовании радиоактивных и делящихся материалов во многих отраслях деятельности.

Комплекс задач по повышению объективности общественного мнения об уровне радиационных рисков для окружающей среды от деятельности ОИАЭ включает повышение осведомленности заинтересованных лиц, учет и обсуждение существующих у населения опасений, формирование независимого источника информации с достоверной оценкой радиационной ситуации, заслуживающего доверие у населения [3, 4]. Доверие к источнику данных может быть достигнуто демонстрацией следующих качеств: компетентности в предметной области, беспристрастности в отношении деятельности ОИАЭ, способности получать достоверные результаты [5]. Одновременное сочетание требуемых качеств присуще ограниченному кругу специалистов, в число которых входят научные сотрудники институтов академии наук, профессорско-преподавательский состав профильных университетов и колледжей. Объединение усилий специалистов указанных организаций, а также вовлечение студентов профильных специальностей позволяет не только создать механизм независимых и достоверных данных об уровнях воздействия в районах расположения ОИАЭ, но и сохранять требуемые компетенции.

Примером реализации рассмотренного подхода является общественная инициатива Института промышленной экологии УрО РАН и Физико-технологического института УрФУ по организации для магистрантов профильных направлений краткосрочных полевых экспедиций в зону наблюдений ФГУП «ПО «Маяк». Цель полевых инструментальных исследований – формирование независимого источника информации о радиационной ситуации на общественно доступных местах зоны наблюдения ОИАЭ [6]. Состав участников таких исследований обладает объективными факторами, способствующими формированию независимого источника информации для широкого круга заинтересованных лиц: беспристрастностью, уровнем компетенций, современными средствами измерения и методами анализа данных. В рамках описанной инициативы второй год осуществляются радиационные обследования отдельных участков с целью определения содержания искусственных и природных радионуклидов в почвах и грунтах селитебных территорий, сельскохозяйственных угодий, зон рекреации [7].

Долговременные наблюдения за содержанием ^{137}Cs в почве и грунтах общественно доступных мест зоны наблюдения ФГУП «ПО «Маяк» позволяют обоснованно утверждать о наличии или отсутствии изменений радиационной ситуации. Результаты полевых исследований предназначены для устных докладов студентов в рамках научно-практических конференций и подготовки статей для научных журналов. Такая форма использования данных, с одной стороны, способствует повышению информированности заинтересованных лиц, а с другой – демонстрирует открытую форму оценки достоверности результатов исследований. Выбранный объект исследований – общественно доступные пространства зоны наблюдения ОИАЭ – часто остается вне поля зрения для научных радиоэкологических исследований, однако сведения о содержании радионуклидов в объектах окружающей среды на участках постоянного или частого присутствия человека вызывают постоянный интерес для проживающего там населения. Научные подходы и методы, современные научные средства измерения и анализа позволяют в простой и доступной форме представить основные выводы о радиационной безопасности для населения обследованных территорий.

2. Материалы и методы

В рамках содействия в обеспечении радиационной безопасности населения в зоне наблюдения ФГУП «ПО «МАЯК» выполнены полевые измерения мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы (далее МАЭД) и удельной активности гамма-излучающих радионуклидов в грунтах и почвах общественно доступных участков. Для каждой точки выполненного измерения определялись и фиксировались географические координаты. В качестве средства измерения применялся полевой гамма-спектрометр МКС-АТ6101ДР с детектором из NaI(Tl) Ø 63 x 63 мм. Время набора спектра в точках измерения выбиралось от 600 до 1200 сек. Расчет удельной активности радионуклидов производился на месте измерения автоматически с помощью установленного алгоритма в блоке обработки информации (БОИ). Экран БОИ позволяет визуализировать набираемый спектр в процессе измерения. Привязка географических координат к результатам измерения на местности выполнялась автоматически встроенным в БОИ GPS-приемником.

В ноябре 2021 г. и октябре 2022 г. были проведены спектрометрические исследования на 15 участках общественно доступного пространства зоны наблюдения ФГУП «ПО «Маяк». Все обследованные участки расположены вблизи двух автомобильных маршрутов: Екатеринбург – Касли – Кыштым – Метлино – Екатеринбург; Екатеринбург – Касли – Кыштым – Каолиновый – оз. Акакуль – Екатеринбург. Ряд измерений выполнен на территориях с повышенным содержанием ^{137}Cs в почве. Участки обследований выбирали исходя из их доступности, рельефа местности и отсутствия любых ограничений на нахождение там обычных граждан (рис. 1).



Рис. 1. Критерий выбора участка обследования – доступность для посещения людьми

Все участки, на которых были выполнены полевые гамма-спектрометрические измерения удельной активности почвы/грунта, можно разделить на несколько категорий по характеру использования ландшафта:

- селитебная зона;
- сельскохозяйственные угодья;
- зона рекреации (лес, луга, береговая зона озер).

На отдельных участках измерения проводились в двух или более точках с различным типом ландшафта. Для таких участков характеристику радиационной

ситуации усредняли по результатам всех измерений. Местоположения исследованных за два года участков (обозначены числами) представлены на рис. 2. Нумерация обследованных участков не соответствует порядку обследования, для удобства восприятия и визуализации точки расположены по убыванию широты.

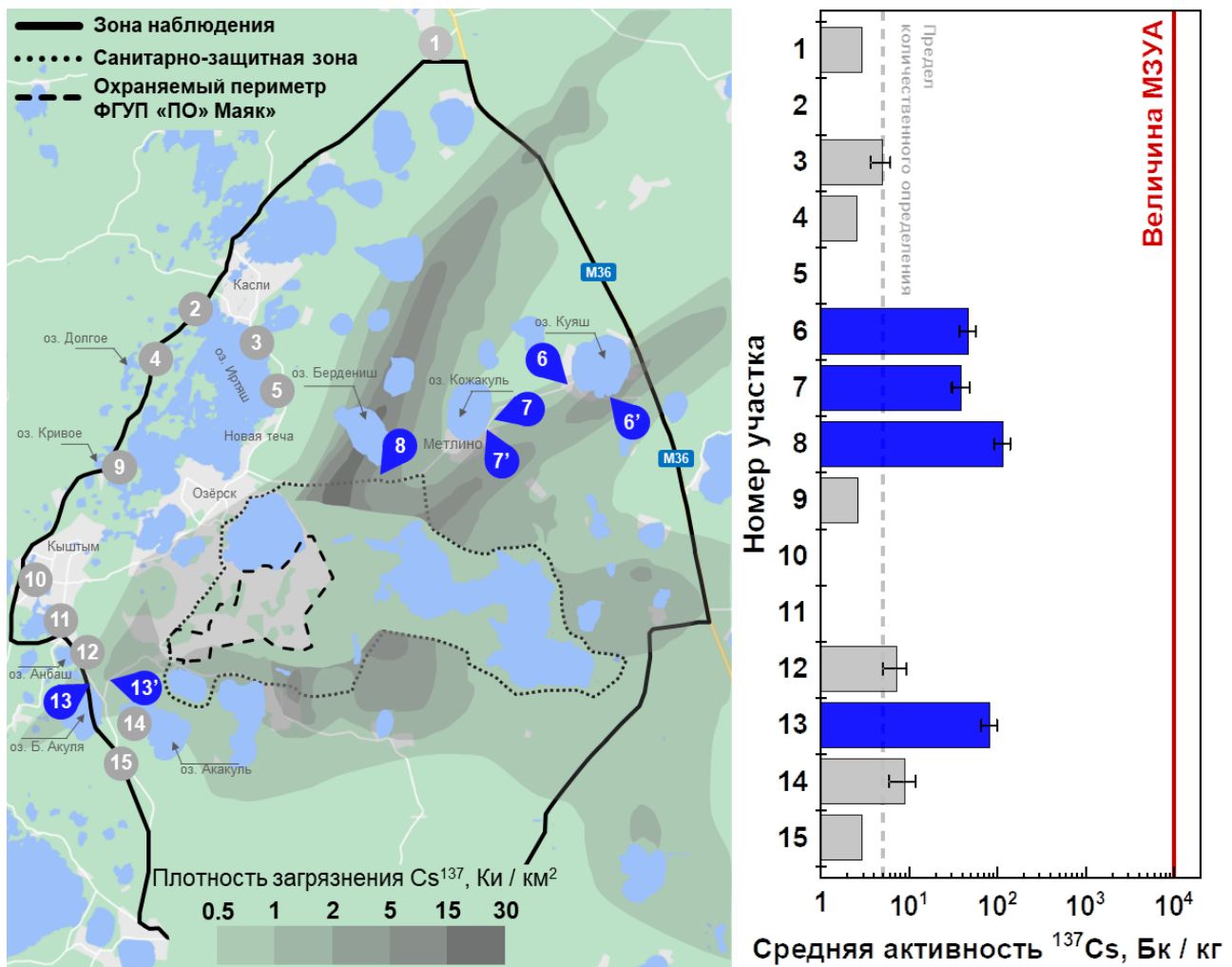


Рис. 2. Расположение и нумерация обследованных участков зоны наблюдения ФГУП «ПО «Маяк»

Результаты полевых измерений удельной активности гамма-излучающих радионуклидов и МАЭД послужили основанием для выводов о тенденциях в изменении радиоэкологической ситуации и соблюдении установленных пределов индивидуальных доз облучения населения. Для вывода об актуальном уровне радиационного воздействия на обследованных участках проведены сравнения полученных данных с перечисленными критериями:

- минимально значимые удельные активности идентифицированных в почве радионуклидов [8];
- значения плотности загрязнения цезием обследованных участков в 2007 г. [9];
- МАЭД и вклад в интенсивность внешнего облучения от ^{137}Cs , содержащегося в почвах или грунтах обследованных участков.

Сравнение полученных результатов измерений удельной активности ^{137}Cs в почвах локальных участков с данными картирования загрязнения 2007 г. проводилось путем:

- учета распада ^{137}Cs и приведения данных 2007 г. к 2022 г.;
- перерасчета удельной активности (Bq/kg) в плотность загрязнения (Bq/m^2) по формуле (1):

$$A_s^{obs} = \frac{\bar{A}_m \rho v d^2}{1 - e^{-v d}}, \quad (1)$$

где A_s^{obs} – поверхностная активность ^{137}Cs на глубине $x = 0$, Бк/м²;
 \bar{A}_m – средняя удельная активность ^{137}Cs , измеряемая в эксперименте, Бк/кг;
 ρ – плотность почвы, 1 400 кг/м³;
 v – параметр, определяющий распределение ^{137}Cs по глубине почвы, 12 м⁻¹;
 d – максимальная глубина регистрации радионуклида, 0,1 м.

Для расчета использовали значения ρ , v и d из работы [6]. Таким образом была получена консервативная оценка, не учитывающая поглощение гамма-квантов почвой. Далее результаты расчета приводились к размерности Ки/км².

Мощность дозы внешнего облучения от загрязненной поверхности, обусловленная наличием радионуклида в почве $E_{пов}$, рассчитывается по формуле (2):

$$E_{пов} = A_s R_{пов} t_n, \quad (2)$$

где A_s – поверхностная активность ^{137}Cs , Бк/м²;
 $R_{пов}$ – коэффициент дозового преобразования для ^{137}Cs при внешнем облучении от поверхности источника, $5,01 \cdot 10^{-16}$ Зв·м²/(Бк·с);
 t_n – время нахождения на рассматриваемой территории в течение 1 ч., 3 600 с/ч.

Отношение результата расчета $E_{пов}$ по формуле (2) к результату измерения МАЭД (\bar{P}) на обследованных участках показывает вклад ^{137}Cs в почве во внешнее облучение при нахождении на обследуемом участке.

3. Результаты

Радиационные характеристики локальных участков, обследованных в ходе полевых работ, и их координаты представлены табл. 1.

Таблица 1. Значения средней удельной активности обнаруженных радионуклидов и мощность AMBIENTного эквивалента дозы на исследованных участках

№	Координаты участка		Тип ландшафта	МАЭД \bar{P} , мкЗв/ч	Удельная активность радионуклидов \bar{A}_m , Бк/кг			
	N, °	E, °			⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	¹³⁷ Cs
1	60,9739	56,0402	Лес, поле	0,08	375 ± 79	8 ± 4	21 ± 5	< 3
2	60,7052	55,8740	Берег озера	0,05	28 ± 24	5 ± 3	9 ± 4	–
3	60,7564	55,8574		0,06	235 ± 58	12 ± 4	5 ± 3	5 ± 1
4	60,6526	55,8421	Лес	0,06	146 ± 39	5 ± 4	8 ± 4	< 3
5	60,7940	55,8177	Поле	0,07	288 ± 64	14 ± 5	11 ± 4	–

6	61,1422	55,8190	Поле	0,09	193 ± 58	15 ± 7	11 ± 5	63 ± 10
7	61,0156	55,8057	Берег озера, поле, лес	0,07	167 ± 46	16 ± 7	6 ± 3	40 ± 9
8	60,8953	55,7713	Поле	0,10	110 ± 40	6 ± 5	5 ± 4	119 ± 24
9	60,5966	55,7756	Лес	0,09	226 ± 57	18 ± 7	31 ± 8	< 3
10	60,5317	55,7053	Парк	0,06	268 ± 62	5 ± 4	9 ± 3	–
11	60,5616	55,6795	Лес	0,07	217 ± 53	12 ± 5	12 ± 4	–
12	60,5667	55,6653		0,05	105 ± 32	5 ± 3	5 ± 2	7 ± 2
13	60,6013	55,6482		0,08	115 ± 36	6 ± 2	< 3	84 ± 17
14	60,6260	55,6165		0,12	593 ± 125	13 ± 7	40 ± 10	9 ± 3
15	60,6129	55,6002		0,05	75 ± 29	8 ± 4	7 ± 4	< 3

Визуализация расположения обследованных участков и установленные на 2007 г. уровни загрязнения зоны наблюдения ФГУП «ПО «МАЯК» представлены на рис. 2.

В левой части рис. 2 изолиниями и оттенками серого показано распределение плотности загрязнения почвы ^{137}Cs после Кыштымской аварии и образования Карачаевского следа на момент 2007 г. [9]. Для улучшения восприятия на рис. 2 не приведена область с плотностью загрязнения 0,2–0,5 Ки/км², в которую попадают участки 3, 5, 12, 14 и 15. Вне указанных областей (участки 1, 2, 4, 9, 10 и 11) ^{137}Cs не был достоверно обнаружен. Синим цветом выделены те участки (участки 6, 7, 8 и 13), на которых удельная активность ^{137}Cs достоверно превышала 5 Бк/кг. При значении удельной активности меньше чем 5 Бк/кг (штрихпунктирная линия на диаграмме) отсутствует возможность его достоверного определения.

В правой части рис. 2 на диаграмме представлены измеренные значения содержания ^{137}Cs в почве обследованных участков. Красная линия на диаграмме – значение минимально значимой удельной активности ^{137}Cs [8]. На участках 6, 7 и 13 указано среднее по штрихованным и нештрихованным точкам. Как можно заметить, максимальная величина удельной активности ^{137}Cs (119 ± 24 Бк/кг) на два порядка меньше минимально значимой удельной активности (МЗУА) (10⁴ Бк/кг).

На рис. 3 представлены результаты измерений средней удельной активности \bar{A}_m естественных радионуклидов ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th в единицах Бк/кг. Нумерация и местоположение площадок соответствует данным на рис. 2. Красная сплошная линия – минимально значимая удельная активности для соответствующих радионуклидов, залитая серым область – диапазоны типичных значений удельной активности, встречающиеся на территории России [10, 11].

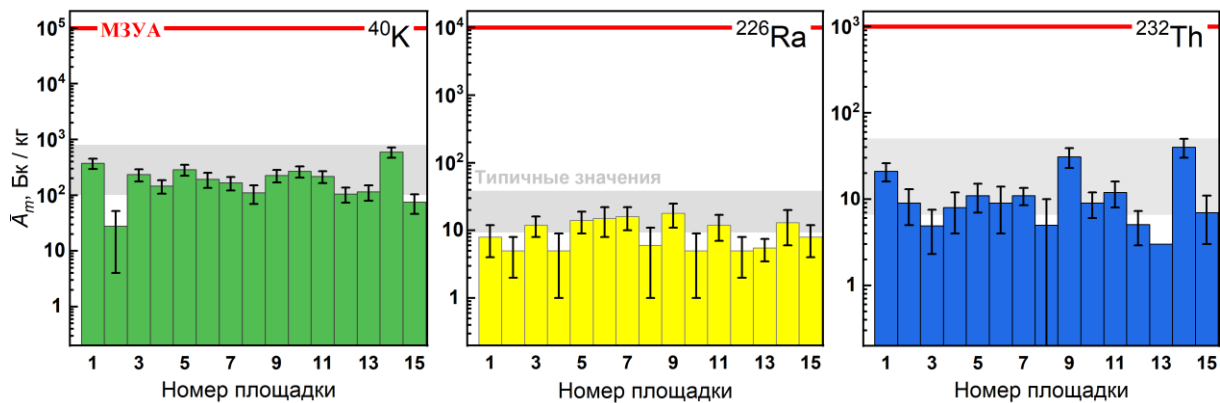


Рис. 3. Диаграммы удельной активности естественных радионуклидов на площадках зоны наблюдения ФГУП «ПО «Маяк»

На участках 6, 7 и 13 указано среднее по штрихованным и нештрихованным точкам. Из представленных данных видно, что измеренные значения удельной активности ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th как минимум на порядок меньше, чем установленные уровни минимально значимой удельной активности [8]. Полученные значения также попадают в диапазоны наиболее типичных для почвы, расположенной на территории России (выделены серой заливкой) [10, 11]. Все это указывает на отсутствие угрозы населению и окружающей среде от естественных радионуклидов в зоне наблюдения ФГУП «ПО «Маяк».

4. Обсуждение

Для заключения о трендах изменения радиозэкологической ситуации на обследованных участках выполнено сравнение полученных актуальных оценок плотности загрязнения почвы ^{137}Cs с установленным уровнем загрязнения этих же участков в 2007 г. [9]. Поскольку при таком сравнении используются величины, установленные около 15 лет назад, значения, указанные в [9], были пересчитаны на год выполнения настоящих измерений. При этом рассмотрены две ситуации изменения плотности загрязнения почвы ^{137}Cs :

- только за счет распада с постоянной распада $\lambda = 7,28 \cdot 10^{-10} \text{ c}^{-1}$;
- за счет распада и любых других процессов выведения активности из загрязненного слоя почвы с постоянной процесса $\lambda_{sum} = \lambda + \lambda_{nd}$, где λ_{nd} – постоянная выведения активности из загрязненного слоя почвы, связанная со всеми процессами, кроме радиоактивного распада, и равная $1,27 \cdot 10^{-9} \text{ c}^{-1}$ [12].

В табл. 2 представлены исходные данные о плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в 2007 г., а также изменение загрязнения к 2022 г. как в результате распада ^{137}Cs , так и в результате всех процессов выведения активности из загрязненного слоя почвы, а также результаты оценки плотности загрязнения почвы, полученные в ходе полевых работ для каждого локального участка обследования с достоверными данными об удельной активности ^{137}Cs (участки 3, 6, 7, 8, 12, 13, 14).

Результаты оценки плотности загрязнения почвы ^{137}Cs обследованных участков находятся ниже или соответствуют диапазону поверхностной активности, установленному в 2007 г., что указывает на положительный тренд в улучшении радиозэкологической ситуации. Результаты оценок, находящиеся ниже установленного в 2007 г. загрязнения, могут быть связаны с рядом причин:

- не учитывают содержание ^{137}Cs в горизонтах почвы глубже 10 см;
- постоянная выведения активности из загрязненного слоя почвы, связанная со всеми процессами, кроме радиоактивного распада, выше, чем использованная в настоящей работе.

Таблица 2. Данные о плотности загрязнения почвы ^{137}Cs обследованных участков

№ пп.	Поверхностная активность ^{137}Cs обследованных участков				Соответствие актуальных данных диапазону на 2007 г.	
	Диапазон по данным картирования 2007 г., Ки/км ²		Оценки результатов обследования на 2022 г., Ки/км ²			
	На 2007 г. [9]	На 2022 г. с учетом:		№ участка		Актуальное значение
Только распада		Всех процессов				
1.	От 0,2 до 0,5	От $1,4 \cdot 10^{-1}$ до $3,5 \cdot 10^{-1}$	От $7,3 \cdot 10^{-2}$ до $1,8 \cdot 10^{-1}$	3	$3,2 \cdot 10^{-2} \pm 1 \cdot 10^{-2}$	Ниже
				12	$4,6 \cdot 10^{-2} \pm 1 \cdot 10^{-2}$	
				14	$5,9 \cdot 10^{-2} \pm 2 \cdot 10^{-2}$	
2.	От 0,5 до 1,0	От $3,5 \cdot 10^{-1}$ до $6,9 \cdot 10^{-1}$	От $1,8 \cdot 10^{-1}$ до $3,6 \cdot 10^{-1}$	7	$2,6 \cdot 10^{-1} \pm 5 \cdot 10^{-2}$	Ниже
3.	От 1,0 до 2,0	От $6,9 \cdot 10^{-1}$ до 1,4	От $3,6 \cdot 10^{-1}$ до $7,3 \cdot 10^{-1}$	13	$5,5 \cdot 10^{-1} \pm 1 \cdot 10^{-1}$	Соответствует
4.	От 2,0 до 5,0	От 1,4 до 3,5	От $7,3 \cdot 10^{-1}$ до 1,8	6	$4,1 \cdot 10^{-1} \pm 1 \cdot 10^{-1}$	Ниже
				8	$7,7 \cdot 10^{-1} \pm 2 \cdot 10^{-1}$	Ниже

Полученные актуальные значения плотности загрязнения почвы ^{137}Cs обследованных участков позволили оценить вклад в мощность дозы внешнего облучения при нахождении на них человека. Результаты расчетов по формуле (2) представлены на диаграмме рис. 4.

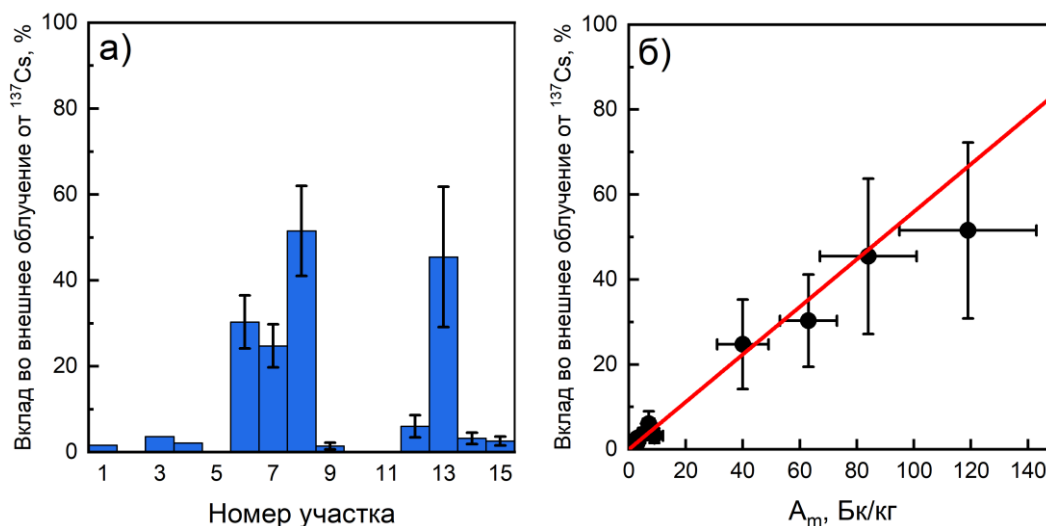


Рис. 4. Диаграмма вклада излучения от загрязнения почвы ^{137}Cs в мощность дозы внешнего облучения: а) доля внешнего облучения от ^{137}Cs в почве конкретного участка, б) зависимость доли внешнего облучения от ^{137}Cs в почве к его УА на конкретном участке

Установлена связь между удельной активностью ^{137}Cs в почве и вкладом внешнего облучения от гамма излучения. Для полученного диапазона значений

удельной активности такая положительная корреляция может быть описана линейной зависимостью вида (3):

$$\frac{E_{\text{пов}}}{\bar{P}} \approx 0,0046 \cdot \bar{A}_m, \quad (3)$$

где $E_{\text{пов}}$ – определяется по формуле (2) поверхностная активность ^{137}Cs , Бк/м²;

\bar{P} – измеренное на участке значение МАЭД, мкЗв/ч;

\bar{A}_m – средняя удельная активность ^{137}Cs , измеряемая в эксперименте, Бк/кг.

Выражение (3) позволяет предположить, что в настоящее время на участках местности с удельной активностью ^{137}Cs в почве выше 105 Бк/кг не менее половины внешнего облучения будет происходить за счет радиоактивного распада данного радионуклида. Дополнительное к природному фону внешнее облучение от присутствия ^{137}Cs в почве не превысит установленный годовой предел дозы для населения даже при реализации консервативного условия постоянного нахождения человека на таких участках местности.

5. Выводы

1. В результате второго года реализации общественной инициативы сотрудников Института промышленной экологии УрО РАН и Физико-технологического института УрФУ по организации для магистрантов профильных направлений краткосрочных полевых экспедиций в зону наблюдений ФГУП «ПО «Маяк» проведено радиационное обследование 15 участков общественно доступного пространства.

2. Значения МАЭД на обследованных участках зафиксированы в диапазоне от 0,05 до 0,12 мкЗв/ч, что в целом соответствует региональному уровню радиационного воздействия от природных источников облучения.

3. Содержание всех достоверно идентифицированных радионуклидов в почве и грунтах обследованных участков не менее чем в 10 раз меньше установленных МЗУА для данных радионуклидов.

4. Максимальные значения УА ^{137}Cs в почве и грунтах участков общественно доступного пространства в зоне наблюдения ФГУП «ПО «Маяк» не превышает 120 Бк/кг.

5. Сравнение полученных в ходе исследований актуальных оценок плотности загрязнения почвы ^{137}Cs обследованных участков с уровнем загрязнения этих же участков в 2007 г. показало, что снижение активности происходит быстрее, чем естественный радиоактивный распад данного радионуклида.

6. На отдельных участках, где УА ^{137}Cs в почве и грунтах превышает 105 Бк/кг, не менее половины внешнего облучения будет происходить за счет радиоактивного распада данного радионуклида. Такое дополнительное облучение не превысит установленный годовой предел дозы для населения даже в нереализуемых условиях постоянного нахождения человека на таких участках местности.

7. Полученные результаты полевых исследований и анализ собранных данных подтверждают отсутствие радиационной опасности для населения в зоне наблюдения ФГУП «ПО «Маяк».

8. Второй год полевых исследований не выявил признаков влияния текущей производственной деятельности ФГУП «ПО «Маяк» на радиоэкологическую ситуацию в зоне наблюдения.

6. Благодарности

Авторский коллектив выражает благодарность всем участникам экспедиций, а также агентству экологической безопасности «Альфа-Х91» за оказание помощи в транспортировке полевого отряда и предоставлении полевых средств измерения.

7. Список литературы

1. Цели устойчивого развития ООН. Интернет ресурс <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals> (дата обращения: 10.03.2023).
2. Привлечение заинтересованных сторон к решению ядерных вопросов. INSAG-20 / Доклад Международной группы по ядерной безопасности. – Вена: МАГАТЭ, 2015. – 21 с.
3. Информационные интересы общества и объектов атомной отрасли: уроки конфликтов / Н. В. Горин, А. А. Екидин, С. В. Нечаева, О. С. Головихина // Государственное управление. Электронный вестник. – 2020. – № 83. – С. 47–61. – DOI: 10.24411/2070-1381-2020-10108. – EDN: RFBUFFK.
4. Формирование общественного мнения в интересах развития и признания атомной энергетики экологически чистым источником энергии / Н. В. Горин, А. А. Екидин, В. П. Кучинов [и др.] // Траектория исследований – человек, природа, технологии. – 2022. – № 1 (1). – С. 102–111. – DOI: 10.56564/27825264_2022_1_102. – EDN: KADGXW.
5. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. Межгосударственный стандарт. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. – М : – Стандартиформ, 2019.
6. Опыт независимого радиационного контроля на общественно доступных участках зоны наблюдения ФГУП «ПО «Маяк» / В. С. Носовец, Л. А. Мищенко, К. С. Миргородских [и др.] // Вопросы радиационной безопасности. – 2022. – № 1 (105). – С. 3–10. – EDN: NXMEVH.
7. Опыт проведения независимого общественного контроля радиационноопасных объектов / А. А. Екидин, А. В. Васильев, М. Е. Васянович [и др.] // Траектория исследований – человек, природа, технологии. – 2023. № 1 (5). – С. 87–103. – DOI: 10.56564/27825264_2023_1_87. – EDN: LNXQFU.
8. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарные правила и нормативы / СанПин 2.6.1.2523-09. – М. : Минздрав России, 2009. – 68 с.
9. История формирования радиоактивного загрязнения на Южном Урале // Атлас ВУРСа. Интернет ресурс. – URL: http://downloads.igce.ru/publications/Atlas/CD_VURS/7-12.html#page11 (дата обращения: 01.02.2023).
10. Александров, Ю. А. Основы радиационной экологии: учеб. пособие / Ю. А. Александров. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2007. – 268 с.
11. Орлов, П. М. Естественные радионуклиды в почвах России и фосфатных рудах планеты / П. М. Орлов, В. Г. Сычев, Н. И. Аканова // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2020. – № 4. – С. 62–67. – DOI: 10.24411/2587-6740-2020-14074.
12. РБ-106-21. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендуемые методы расчета параметров, необходимых для разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух. ФБУ «НТЦ ЯРБ». – Москва, 2021.

Сведения об авторах:

Носовец Вадим Сергеевич, магистрант, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Россия, Екатеринбург; e-mail: vadim.nosovets@urfu.ru.

Зигангиров Артур Рустемович, магистрант, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Россия, Екатеринбург.

Макеева Екатерина Станиславовна, магистрант, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Россия, Екатеринбург.

Екидин Алексей Акимович, к. ф.-м. н., ведущий научный сотрудник, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники за 2021 год, Институт промышленной экологии УрО РАН, Россия, Екатеринбург.

EXPERIENCE OF INDEPENDENT RADIATION CONTROL IN PUBLICLY ACCESSIBLE SITES OF THE «FSUE MAYAK PA» MONITORING AREA

V.S. Nosovets¹, A.R. Zigangirov¹, E.S. Makeeva¹, A.A. Ekinin²

¹ Ural Federal University, Russia, Yekaterinburg

² Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, Yekaterinburg

This paper presents the results of a public initiative implementation aimed at forming an independent source of information about the radiation situation in FSUE "PO "Mayak" publicly accessible observation zone places. This initiative is being held for the second year. FSUE PO Mayak was chosen because it is the largest enterprise in the country for the management of radioactive and nuclear materials. The ambient dose equivalent power is in the range of 0.05–0.12 mSv/h in the examined areas. The technogenic radionuclide ¹³⁷Cs has been reliably identified only at sites that were contaminated in 1957 and 1967. Specific activity of ¹³⁷Cs that is in the soil of previously contaminated sites does not exceed 120 Bq/kg. The content of natural radionuclides ranges from 5 to 18 Bq/kg (for ²²⁶Ra), from 5 to 40 Bq/kg (for ²³²Th) and from 28 to 595 Bq/kg (⁴⁰K) in the surveyed sites soils.

Key words: public control; soil; radionuclides; activity; dose rate; environment; monitoring area; stochastic effects.

References

1. Celi ustojchivogo razvitiya OON. Internet <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals> (10.03.2023). [in Russian].
2. Stakeholder Involvement in Nuclear Issues. INSAG-20 / A report by the International Nuclear Safety Group. – International Atomic Energy Agency, VIENNA, 2006. – 21 p.
3. Gorin N. V. Informacionnye interesy obshestva i obektov atomnoj otrasli: uroki konfliktov. / N. V. Gorin, A. A. Ekinin, S. V. Nechaeva, O. S. Golovihina // Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyj vestnik. – 2020. – № 83. – S. 47-61. – DOI: 10.24411/2070-1381-2020-10108. – EDN: RFBUEK. [in Russian].
4. Gorin N. V. Formirovanie obshestvennogo mneniya v interesah razvitiya i priznaniya atomnoj energetiki ekologicheski chistym istochnikom energii / N. V. Gorin, A. A. Ekinin, V. P. Kuchinov, L. G. Matveeva, V. F. Menshikov // Traektoriya issledovanij – chelovek, priroda, tehnologii. – 2022. – № 1 (1). – S. 102-111. – DOI: 10.56564/27825264_2022_1_102. – EDN: KADGXW. [in Russian].
5. Obshie trebovaniya k kompetentnosti ispytatelnyh i kalibrovochnyh laboratorij. Mezghosudarstvennyj standart. GOST ISO/IEC 17025-2019. Moskva. – Standartinform. – 2019. [in Russian].
6. Nosovets V.S. Opyt nezavisimogo radiacionnogo kontrolya na obshestvenno dostupnyh uchastkah zony nablyudeniya FGUP «PO «Mayak» / V. S. Nosovec, L. A. Mishenko, K. S. Mirgorodskih, K. S. Sahnno, A. A. Ekinin, E. I. Nazarov // Voprosy radiacionnoj bezopasnosti. – 2022. – № 1 (105). – S. 3-10. – EDN: NXMEVH. [in Russian].
7. Ekinin A. A. Opyt provedeniya nezavisimogo obshestvennogo kontrolya radiacionnoopasnyh obektov. / Ekinin A. A., Vasilev A. V., Vasyanovich M. E., Nazarov E. I., Pyshkina M. D. // Traektoriya issledovanij – chelovek, priroda, tehnologii. – 2023. № 1 (5). – S. 87-103. – DOI: 10.56564/27825264_2023_1_87. – EDN: LNXQFU. [in Russian].
8. Normy radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99/2009). Sanitarnye pravila i normativy / SanPin 2.6.1.2523-09. – M.: Minzdrav Rossii, 2009. – 68 s. [in Russian].
9. Istoriya formirovaniya radioaktivnogo zagryazneniya na Yuzhnom Urale // Atlas VURSa. Internet URL: http://downloads.igce.ru/publications/Atlas/CD_VURS/7-12.html#page11 (data obrasheniya: 01.02.2023). [in Russian].
10. Aleksandrov, Yu. A. Osnovy radiacionnoj ekologii: Uchebnoe posobie /Mar. gos. un-t; Yu.A. Aleksandrov. – Joshkar-Ola, 2007. – 268 s. [in Russian].

11. Orlov, P. M. Estestvennyye radionuklidy v pochvah Rossii i fosfatnyh rudah planety. / Orlov P. M., Sychev V. G., Akanova N. I. // *Mezhdunarodnyj selskohozyajstvennyj zhurnal*/ – 2020. № 4. – S. 62-67. – DOI: 10.24411/2587-6740-2020-14074. [in Russian].
12. RB-106-21. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispolzovanii atomnoj energii. Rekomenduemye metody rascheta parametrov, neobhodimyh dlya razrabotki i ustanovleniya normativov predelno dopustimyh vybrosov radioaktivnyh veshestv v atmosferyj vozduh. FBU "NTC YaRB". 2021. – Moskva. [in Russian].

АНАЛИЗ СОБЛЮДЕНИЯ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА ПО БЛАГОУСТРОЙСТВУ И СОДЕРЖАНИЮ ПРИДОМОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ УПРАВЛЯЮЩИМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ В РЕГИОНАЛЬНЫХ ЦЕНТРАХ РОССИИ

Е. И. Початкова¹, А. А. Селезнев^{1,2}

¹ Уральский федеральный университет им. первого Президента России
Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

² Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

В статье приводятся результаты анализа соблюдения законодательства по благоустройству и содержанию придомовых территорий управляющими организациями (далее – УО) в административных центрах федеральных округов России. На основе анализа федерального законодательства РФ в сфере благоустройства и содержания придомовых территорий составлен перечень работ, которые должны выполнять УО. По данным интернет-ресурсов, было найдено 14615 УО, 150 из которых вошли в выборку для анализа. Методом контент-анализа в регламентах УО выявлялись конкретные виды услуг (работ) по благоустройству и содержанию придомовых территорий из федерального законодательства. Отмечена большая информационная закрытость УО, более половины УО нарушают действующие нормативно-правовые акты, регламентирующие порядок и сроки раскрытия данных об их деятельности. Наблюдается диспропорция в раскрытии информации между городами федерального значения и другими центрами федеральных округов. На основании проведенного анализа города были ранжированы в соответствии с представленностью в регламентах УО работ по содержанию придомовых территорий. Количество работ в регламентах и отчетах деятельности УО не гарантирует качество их выполнения. Состав этих работ не гарантирует выполнения требований по обеспечению экологической безопасности окружающей среды городов.

Ключевые слова: урбанизированная среда; многоэтажная жилая застройка; придомовая территория; благоустройство; содержание; управляющая организация; законодательство; контент-анализ.

1. Введение

Интенсивное строительство и автомобилизация, нарушение технологий благоустройства стали ведущими факторами, формирующими современное загрязнение городских территорий [42]. Загрязнение окружающей среды городов представляет собой комплексную проблему, связанную с взаимодействием человека, природы и технологий. Если проблема учета и контроля выбросов и сбросов от стационарных источников загрязнения городов (предприятий различных отраслей промышленности, электростанций и др.) решается с помощью мероприятий по экологическому мониторингу и производственному экологическому контролю [2], то проблема оценки количества поллютантов, поступающих от нестационарных, диффузных и распределенных источников, до сих пор до конца не решена. В мировой практике к нестационарным источникам загрязнения компонентов окружающей урбанизированной среды относят: автотранспорт, стоки атмосферных осадков (например, весенние стоки снеготалых вод, стоки атмосферных осадков, почвенный сток), пыление от строительных и ремонтных работ [22, 30, 33, 35, 43, 44]. Поступление поллютантов от диффузных источников загрязнения города в природные экосистемы может превышать поступление от стационарных источников [12].

Большая часть поллютантов от автотранспорта в урбанизированной среде поступает в виде продуктов истирания металлических деталей, тормозных колодок, дисков и шин, продуктов истирания дорожного полотна (в англоязычной литературе nonexhaust emissions) [23, 27].

Различные типы современных поверхностных отложений на урбанизированной территории являются концентраторами поллютантов и вещества, которое поступает от диффузных источников загрязнения. Образование пыли и грязи – проблема крупных городов разных частей планеты. Количество пылегрязевых отложений в городах России составляет 1,7–3,4 кг/кв. м [16] и значительно превышает соответствующие показатели для городов Северной Америки и Австралии [34, 37]. Мероприятия по очистке улиц и утилизации пылегрязевых накоплений, таких как твердые коммунальные отходы (ТКО), не обеспечивают полной очистки территорий города [13]. Так, при весьма незначительных объемах [13] вывоза твердого материала городской грязи (297 т) Администрации Екатеринбурга понадобилось бы около десяти лет на полную очистку города от грязи при существующих в настоящее время ее «запасах» [38]. Агентство по Охране окружающей среды США признало поверхностные пылегрязевые накопления (в т. ч. дорожную пыль) вторичным источником и транзитной средой загрязнения городов [35, 43]. Пылегрязевые накопления несут различные виды опасности для городского населения, в т. ч. экологическую:

- загрязнение атмосферного воздуха из-за достаточно большого содержания мелкодисперсных респираторных частиц PM_{2,5} и PM₁₀ в отложениях [23, 27];
- концентрирование бактерий и вирусов на мелкодисперсных частицах [28, 25];
- накопление органических загрязнителей и тяжелых металлов [29, 39];
- повышение числа респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний среди городского населения [31];
- психологические эффекты у жителей городов в результате негативного восприятия своей среды обитания [11, 24, 32, 41].

Отдельно отмечаются негативные экономические эффекты пылегрязенакопления, в числе которых повышение расходов на благоустройство и уборку территорий, эффекты для городской инфраструктуры (заиливание ливневой канализации, уплотнение и засоление городских почв), износ механизмов и частей автотранспорта.

Во многих странах проблема накопления пылегрязевых отложений в городах решается на нескольких уровнях. Первый из них – общегосударственный: разрабатываются документы с критериями оценки экологического благополучия городов, на основании которых происходит мониторинг территорий и ранжирование городов. Например, в США закон о предотвращении и контроле загрязнения воздуха (Air Pollution Prevention and Control) предписывает контролировать загрязнение транспортом атмосферного воздуха [21], в т. ч. от содержания в воздухе твердых частиц. Второй уровень – городской (региональный): разрабатываются конкретные технологии и стандарты благоустройства, содержания, очистки городских территорий (в их числе вакуумная машинная уборка, установка дренажных канав, регулирование стока атмосферных осадков). Третий уровень – регламенты деятельности отдельных организаций, осуществляющих перечисленные выше мероприятия.

Периодически уполномоченными экспертными организациями проводятся мероприятия по оценке накопления массы пылегрязевых наносов на городских территориях и их вещественного (химического, минерального и гранулометрического) состава [26]. По результатам этих исследований проводится анализ существующих технологий благоустройства и разрабатываются меры по их улучшению, в т. ч. оптимизации расходов на мероприятия по благоустройству. На территории России подобные работы не проводились вплоть до 2017 г., а информацию по ним нельзя найти в открытых источниках [20].

По результатам таких исследований в 2017 г. Институтом промышленной экологии УрО РАН были разработаны рекомендации по уменьшению накопления

пелегрязевых наносов на территории Екатеринбурга. Рекомендации вошли в план стратегического развития территории города [19]. Следует подчеркнуть, что рекомендации были разработаны всего лишь для одного города-миллионника из 15. В России отсутствует информированность между регионами о подобной практике исполнительных органов региональной и муниципальной власти. Более того, отсутствуют нормативно-правовые акты (НПА), закрепляющие периодичность проведения таких научно-исследовательских работ. Существует ряд проблем, связанных с их выполнением, в частности отсутствие стандартизируемых и контролируемых показателей. Сейчас к проблеме образования грязи в городах России привлекают внимание общественности в основном активисты из числа гражданского общества, представители научного сообщества, журналисты, используя средства массовой информации [17]. Однако без стандарта с ключевыми показателями деятельности уполномоченных структур (УО, товарищества собственников жилья, городские коммунальные службы) такие активисты не могут эффективно осуществлять общественный контроль.

Помимо органов публичной власти, в систему работы по благоустройству и содержанию придомовых территорий включены коммерческие (управляющие компании) и некоммерческие (товарищество собственников жилья, жилищный кооператив, жилищно-строительный кооператив) организации как субъекты управления придомовыми территориями. Термин «управляющая организация» (УО) обобщает коммерческие и некоммерческие формы управления придомовыми территориями, в официальных документах иногда встречается термин «организация, обслуживающая жилищный фонд» [1, 10]. Согласно данным Фонда содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства, 94,8 % жилищного фонда России управляется без государственного участия [18]. Именно этот сегмент ввиду своей распространенности требует внимания с точки зрения эффективности выполнения задач по содержанию и благоустройству придомовых территорий. Вероятно, либо УО не выполняют требования законодательства, либо требований законодательства недостаточно для обеспечения качественного содержания и благоустройства придомовых территорий.

Таким образом, проблема образования и накопления грязи в городах имеет три основных аспекта: экологический, социальный и управленческий. Целью работы был анализ законодательства по содержанию придомовых территорий управляющими организациями и выявление проблем его соблюдения в городах России. Ставились задачи:

- 1) выявить в нормативно-правовой базе индикаторы содержания придомовых территорий;
- 2) дать их количественную оценку и оценить изменение в разных городах на территории России;
- 3) оценить соответствие нормативно-правовой базы существующей практике управляющих организаций по благоустройству и содержанию придомовых территорий.

2. Материалы и методы

Проводился анализ федерального законодательства (ФЗ) РФ в сфере благоустройства и содержания придомовых территорий для определения перечня работ (услуг), которые должны выполняться УО. Методом традиционного анализа документов исследовались следующие НПА и правила:

- Жилищный кодекс РФ от 29.12.2004 № 188-ФЗ (ред. от 14.07.2022);
- Постановление Правительства РФ от 03.04.2013 № 290 (ред. от 29.06.2020) «О минимальном перечне услуг и работ, необходимых для обеспечения надлежащего содержания общего имущества в многоквартирном доме, и порядке их оказания и выполнения»;

- Правила оказания услуг и выполнения работ, необходимых для обеспечения надлежащего содержания общего имущества в многоквартирном доме;
- Правила содержания общего имущества в многоквартирном доме;
- Правила и нормы технической эксплуатации жилищного фонда;
- Приказ Минкомсвязи № 74, Минстроя России № 114 от 29.02.2016 (ред. от 11.09.2020) «Об утверждении состава, сроков и периодичности размещения информации поставщиками информации в государственной информационной системе жилищно-коммунального хозяйства».

В федеральных НПА проводился поиск конкретных видов работ по благоустройству и содержанию придомовых территорий.

Исследование проводилось на примере восьми административных центров федеральных округов России [3]. Исходя из данных интернет-ресурсов «Реформа ЖКХ» и «ГИС ЖКХ» были выбраны УО, в чьем управлении находится больше 100 домов в городах. В Москве и Санкт-Петербурге рассматривались информационные ресурсы УО, в чьем управлении было больше 200 домов. На интернет-ресурсах «Реформа ЖКХ» и «ГИС ЖКХ» и официальных сайтах УО проводился поиск регламентов проведения работ по благоустройству и содержанию придомовых территорий.

На основе исследованных регламентов проведения работ по благоустройству и содержанию придомовых территорий был составлен Регистр. Информация в Регистре собрана в виде таблицы, в которой отражена открытая информация о деятельности УО по проводимым конкретным видам работ (предоставляемым услугам). Методом контент-анализа в регламентах УО выявлялись конкретные виды работ по благоустройству и содержанию придомовых территорий из федеральных НПА. Количественно эта информация отражена в виде: 0 – отсутствие услуги (работы) в тексте регламента, а также отсутствие публикации на открытых информационных ресурсах, 1 – наличие в регламенте той или иной услуги по благоустройству и содержанию территории (услуга предоставлялась). Регистр содержал две части: (1) информация, найденная на информационных ресурсах, и (2) не опубликованная УО (не найденная, закрытая). При анализе учитывались данные УО, размещенные в открытом доступе. Для данных Регистра:

- исследовалась информационная открытость УО;
- проводилась оценка частоты встречаемости упоминания в регламентах отдельных видов работ и их категорий;
- сравнение средних частот встречаемости работ (категорий) и на его основе ранжирование городов.

При расчете статистических параметров для категорий услуг принималось, что, если хотя бы одна отдельная услуга предоставляется, категории присваивалось значение 1 (категория присутствует/регламентируется).

3. Результаты

3.1. Объем работы

По результатам анализа федеральных НПА составлен перечень категорий и конкретных видов работ/услуг по благоустройству и содержанию, которые должны выполняться УО на подведомственных территориях. Перечень приведен в табл. 1. В табл. 2 приведено количество просмотренных интернет-ресурсов УО по восьми административным центрам федеральных округов России.

Таблица 1. Перечень категорий и конкретных видов работ/услуг, которые должны выполняться УО на подведомственных придомовых территориях в соответствии с федеральными НПА.

Категория работ и услуг	Конкретные виды работ/услуг
Организация работы с отходами	1. Сбор и вывоз жидких бытовых отходов [5]; 2. Работы по содержанию мест накопления твердых коммунальных отходов [5]
Организация работы по благоустройству дворовых территорий	3. Подготовка к сезонной эксплуатации и содержание общего имущества и элементов благоустройства [5]; 4. Содержание и уход за элементами озеленения и благоустройства [5]
Организация летней уборки	5. Подметание и уборка придомовой территории [4]; 6. Уборка и выкашивание газонов [4]; 7. Прочистка ливневой канализации [4]; 8. Уборка крыльца и площадки перед входом в подъезд [4]; 9. Поливка тротуаров в жаркое время дня [7]
Организация зимней уборки	10. Очистка крышек люков колодцев и пожарных гидрантов от снега и льда [4]; 11. Сдвигание свежеснегавшего снега и очистка придомовой территории от снега и льда при наличии колеяности [4]; 12. Очистка придомовой территории от снега наносного происхождения (или подметание такой территории, свободной от снежного покрова) [4]; 13. Очистка придомовой территории от наледи и льда [4]; 14. Уборка крыльца и площадки перед входом в подъезд зимой [4]

Таблица 2. Число отобранных для анализа управляющих организаций (УО) и общее число домов в ведении УО в крупных городах России.

Город	Исходный объем материала		Вошло в Регистр	
	Кол-во найденных УО	Кол-во домов в ведении УО	Кол-во выбранных для анализа УО	Кол-во домов в ведении УО
Москва	3 746	39 206	44	12 713
Санкт-Петербург	4 451	25 180	36	13 313
Ростов-на-Дону	1 625	6 645	12	1 865
Пятигорск	262	709	9	358
Нижний Новгород	1 233	8 685	9	3 142
Екатеринбург	1 271	9 223	22	5 770
Новосибирск	1 458	8 577	17	5 079
Владивосток	569	3 643	8	1 146
Итого:	14 615	101 868	150	43 386

3.2. Описание Регистра

Регистр соответствия регламентов УО требованиям федерального законодательства по благоустройству и содержанию придомовых территорий содержит записи о 150 УО по восьми городам России. Статистические параметры распределения числа домов на одну УО в Регистре представлены в табл. 3. Согласно критерию χ^2 распределение количества домов на одну УО в Регистре соответствовало нормальному (14,03) и логнормальному (17,96) распределению при уровне значимости $p < 0,05$.

Таблица 3. Статистические параметры распределения числа домов в ведении одной УО в Регистре.

Показатель	Значение
Среднее арифметическое	295
Среднее геометрическое	244
Медиана	285
Диапазон	23–904
Стандартное отклонение	166
Коэффициент вариации	56 %

В Регистре информацию в открытом доступе о перечне предоставляемых услуг имеют около 39 % УО. У 40,7 % УО есть сайт, однако на нем не представлена соответствующая информация, остальные 20,6 % не имеют сайта, либо он не работает. Если у УО не представлен регламент деятельности на сайте или такого сайта нет, то и на остальных интернет-платформах регламент отсутствует. В табл. 4 показана информационная открытость УО.

Таблица 4. Информационная открытость управляющих организаций в городах (доля от общего количества исследуемых УО)

Город	Доля УО, у которых информация доступна, %	Доля УО, у которых информация недоступна, %
Москва	14,7	14
Санкт-Петербург	11,3	12
Екатеринбург	4	8
Новосибирск	0,7	10
Ростов-на-Дону	2,7	4,7
Нижний Новгород	4	1,3
Владивосток	1,3	4
Пятигорск	0	5,3
Всего	38,7	60,3

В перечень вошло 14 различных работ (табл. 1) по благоустройству и содержанию придомовой территории. Наиболее информационно открытыми являются УО Нижнего Новгорода, большая часть организаций размещает регламенты своей деятельности на открытых информационных ресурсах в сети Интернет, менее открыты Москва и Санкт-Петербург. У УО Новосибирска информации, размещенной в открытом доступе, меньше всех. Наиболее информационно закрытыми оказались УО Пятигорска, ни одна организация на момент проведения исследования не имела в открытом доступе необходимой информации. Пятигорск и Новосибирск не представлены на рисунках далее. В среднем 66,1 % УО административных центров федеральных округов России не публикуют в свободном доступе регламенты своей деятельности.

3.3. Ранжирование городов по частоте встречаемости работ и услуг

На рис. 1 показано ранжирование городов по соответствию выполнению ФЗ в сфере благоустройства и содержания придомовых территорий. Больше всего упоминаний в регламентах УО Нижнего Новгорода. На втором месте – УО Екатеринбурга и Владивостока. Меньше всего представлены работы по содержанию и благоустройству придомовых территорий в перечнях услуг УО Ростова-на-Дону.

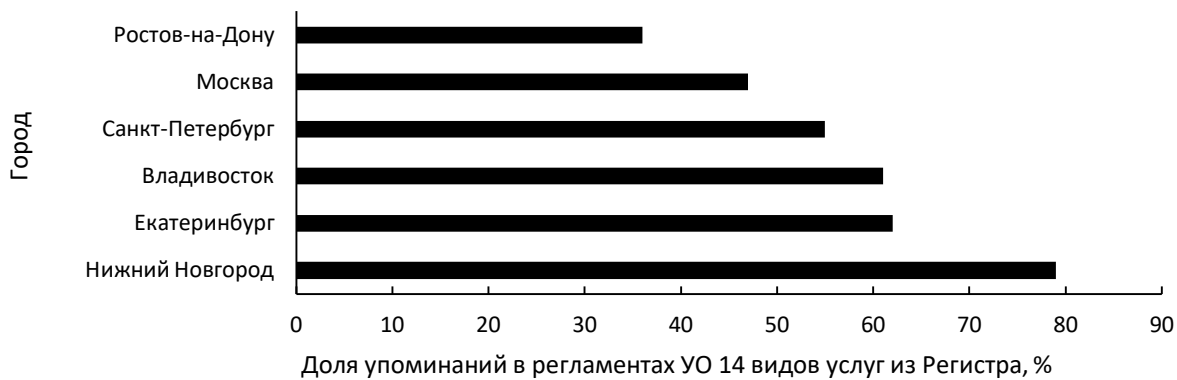


Рис. 1. Ранжирование городов по соответствию выполнения ФЗ в сфере содержания и благоустройства придомовых территорий (в % от числа исследуемых организаций в каждом городе)

На рис. 2 показано распределение городов по категориям услуг УО (средняя доля упоминаний в регламентах УО). Чаще всего услуги по организации работы с отходами представлены в регламентах УО Нижнего Новгорода и Екатеринбурга, эти же города лидируют по представленности в регламентах работ по благоустройству дворовых территорий. Почти все категории работ представлены в регламентах УО Нижнего Новгорода. Ростов-на-Дону оказался на последнем месте в двух из четырех категорий. В целом показатели городов в каждой категории сопоставимы с их положением в общем рейтинге (рис. 1).

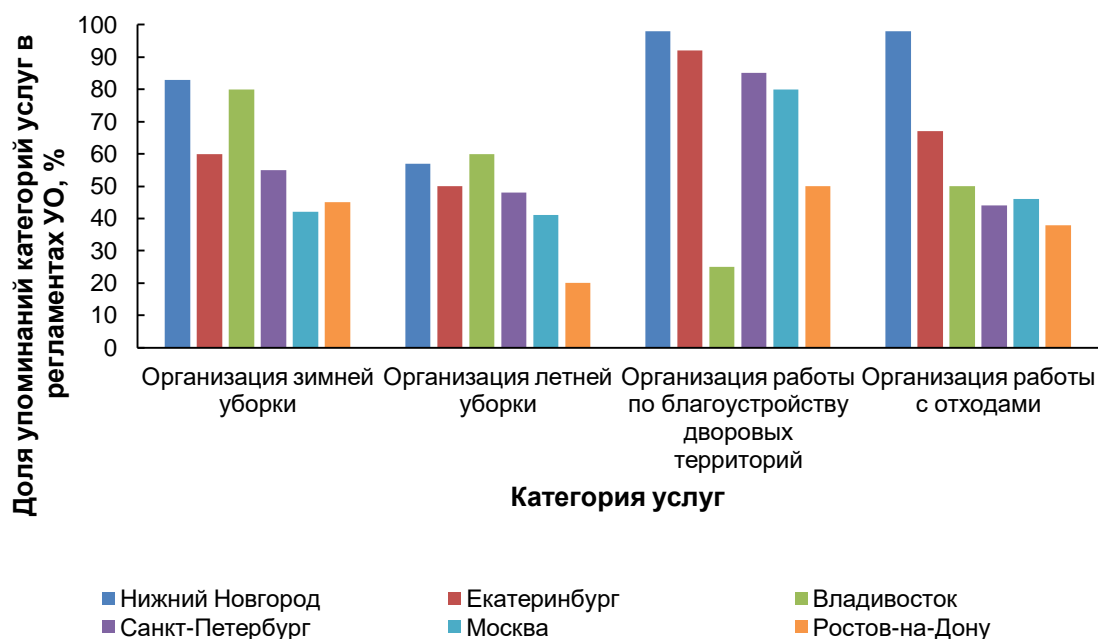


Рис. 2. Представленность отдельных категорий услуг в регламентах деятельности управляющих организаций центров федеральных округов РФ (в % от числа исследуемых организаций в каждом городе)

Наименьшая разница между минимальным и максимальным значениями отмечена в категории «Организация летней уборки». Работы по этому направлению регламентируют от 20 % УО в Ростове-на-Дону до 60 % во Владивостоке. Среднее значение по этой категории (табл. 4) указывает на общую закономерность низкой представленности в регламентах УО услуг по организации летней уборки на придомовых территориях. Немного больше разброс значений в категории «Организация зимней уборки». Регламентируют менее половины работ по зимней

уборке, установленных ФЗ, УО Ростова-на-Дону и Москвы. Чаще всего работы встречаются в регламентах УО Владивостока и Нижнего Новгорода (83 %).

В категории «Организация работы с отходами» Нижний Новгород является лидером; 98 % УО в городе имеют работы по этому направлению в своих перечнях услуг. На этот показатель во многом повлияло наличие практически во всех регламентах УО услуги сбора и вывоза жидких бытовых отходов. В то же время работу по сбору и вывозу жидких бытовых отходов регламентируют только 33,3 % УО в Екатеринбурге, 11,8 % в Санкт-Петербурге, 9,1 % в Москве и ни одна из рассмотренных УО в других городах. При этом работы по содержанию мест накопления твердых коммунальных отходов (ТКО) регламентируют 100 % из рассмотренных УО Екатеринбурга, Владивостока и Нижнего Новгорода, 81,1 % в Москве, 76,5 % в Санкт-Петербурге и 75 % в Ростове-на-Дону.

В категории услуг «Организация работы по благоустройству дворовых территорий» в каждом городе сопоставимое число УО регламентируют предоставление услуг по подготовке к сезонной эксплуатации и содержанию общего имущества и элементов благоустройства, а также услуг по содержанию и уходу за элементами озеленения и благоустройства. В Москве работу (3) (см. табл.1) из категории регламентируют 90,9 % УО, а (4) – 68,2 %, в Санкт-Петербурге эти значения составляют 94,1 % и 76,5 % соответственно. В регламентах деятельности владивостокских УО работы из категории представлены всего у 25 %.

3.4. Частота упоминания отдельных видов работ и их категорий

В табл. 5 показано распределение частоты упоминаний категорий услуг и входящих в них работ в информационно открытой части Регистра (данные по УО Новосибирска учитывались в анализе).

В перечнях предоставляемых услуг наиболее распространены работы по благоустройству дворовых территорий. Чуть больше половины УО регламентируют организацию работы с отходами и проведение зимней уборки. Летняя уборка регламентируется самым меньшим числом УО. В регламентах присутствуют работы, не вошедшие в перечень, составленный на основании федеральных НПА, но которые можно было бы отнести к одной из категорий услуг (не соответствуют ни одному из видов услуг). Например, работа по ликвидации скользкости не является минимально необходимой, но встречается в регламентах некоторых УО. Такие работы в исследовании не учитывались, в их числе: «незалитый или некачественно залитый каток», «уборка, другое», «сосульки, снег на крыше, элементах фасада» и т. п. При условии более конкретной формулировки названия работы, подразумевающей выполнение одной из перечня (табл. 1), они заносились в Регистр (относились к конкретному виду работ). Работы по очистке и ремонту детских и спортивных площадок, элементов благоустройства вносились в Регистр как содержание и уход за элементами благоустройства и относились к категории «Организация работы по благоустройству дворовых территорий».

Таблица 5. Распределение частоты упоминаний категорий услуг в регламентах управляющих организаций.

Категория услуг	Упомянуты (в среднем), %	Вид услуг	Упомянуты, %
Организация работ с отходами	53	Сбор и вывоз жидких бытовых отходов	21
		Работы по содержанию мест накопления твердых коммунальных отходов	84
Организация работ по благоустройству дворовых территорий	80	Подготовка к сезонной эксплуатации и содержание общего имущества и элементов благоустройства	88
		Содержание и уход за элементами озеленения и благоустройства	71
Организация летней уборки	45	Подметание и уборка придомовой территории	71
		Уборка и выкашивание газонов	59
		Прочистка ливневой канализации	26
		Уборка крыльца и площадки перед входом в подъезд летом	48
		Поливка тротуаров в жаркое время дня	21
Организация зимней уборки	55	Очистка крышек люков колодцев и пожарных гидрантов от снега и льда	9
		Сдвигание свежеснегавшего снега и очистка придомовой территории от снега и льда при наличии колеяности	74
		Очистка придомовой территории от снега наносного происхождения (или подметание такой территории, свободной от снежного покрова)	76
		Очистка придомовой территории от наледи и льда	66
		Уборка крыльца и площадки перед входом в подъезд зимой	48

Большинство УО регламентируют предоставление собственникам жилых помещений следующих услуг:

- подготовка к сезонной эксплуатации и содержание общего имущества и элементов благоустройства;
- работы по содержанию мест накопления ТКО;
- очистка придомовой территории от снега наносного происхождения (или подметание территории, свободной от снежного покрова).

В 91 % регламентов УО не представлена информация о работе по очистке крышек люков колодцев и пожарных гидрантов от снега и льда. Также в числе «непопулярных» услуг оказались сбор и вывоз жидких бытовых отходов и поливка тротуаров в жаркое время дня. Эти работы регламентирует одна из пяти УО. В среднем УО регламентируют около половины (54 %) работ из перечня, составленного на основании ФЗ РФ (табл. 1).

3.5. Связь между количеством домов в управлении исследуемых УО и суммой предоставляемых услуг по городам

На рис. 3 показана связь между количеством домов в управлении исследуемых УО и суммой предоставляемых услуг по городам. Полученная связь достоверно аппроксимируется линейной моделью. Чем больше домов в ведении УО, тем большее количество работ по благоустройству и содержанию проводится на придомовой территории. Рисунок составлен на основе данных из открытой части Регистра.

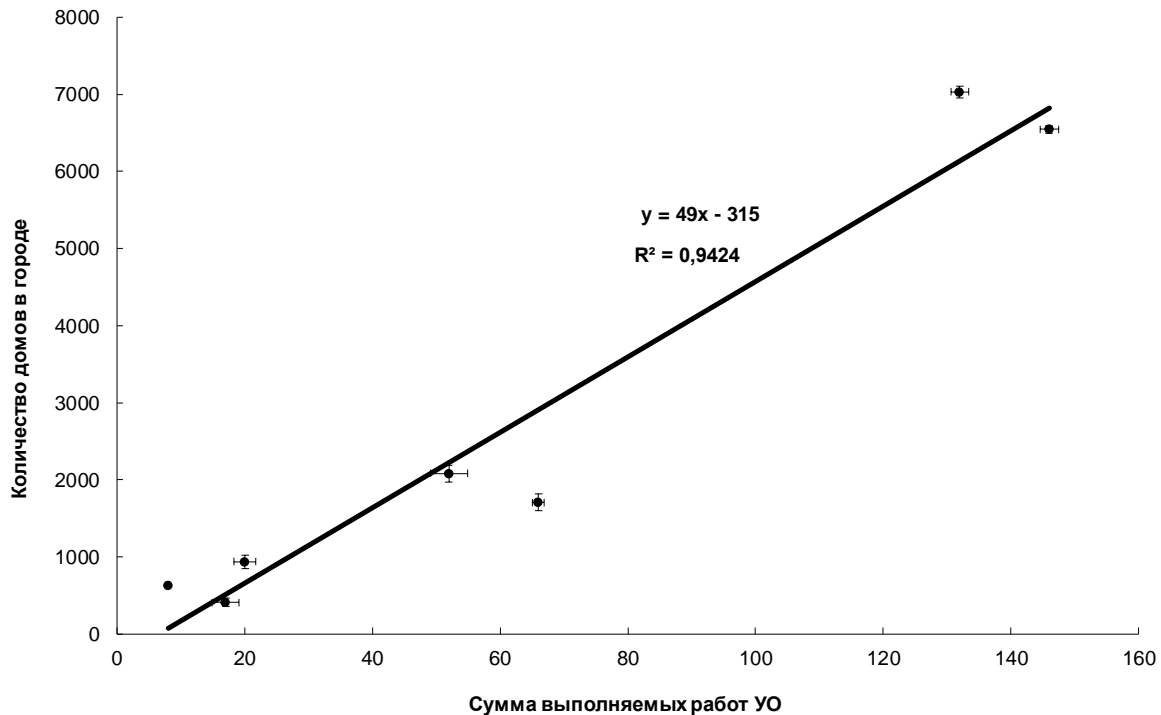


Рис. 3. Связь между количеством домов в управлении исследуемых УО и суммой предоставляемых услуг по городам. Точки соответствуют городам Регистра (не включен Пятигорск), показан 95 % доверительный интервал для исследуемых величин

4. Обсуждение

Найденные в НПА категории работ/услуг и их конкретные виды могут интерпретироваться как индикаторы (показатели) содержания придомовых территорий. Перечень работ по благоустройству и содержанию придомовых территорий содержит минимальное количество работ, которые должны выполнять УО. Неинформативными при формировании Регистра и перечня работ для исследуемых городов и УО в них оказались отчеты УО, хотя они также просматривались.

Вошедшие в Регистр данные УО составляют около 10 % от общего объема данных УО в городах. 90 % данных УО не удовлетворяют выбранной методологии исследования. Вошедшие в Регистр УО имеют в ведении около 40 % домов из начального массива данных. Данные в Регистре оказались показательными для крупных региональных центров с населением больше 1 млн. чел., где в ведении УО находится более 100 домов. Нормальное распределение числа домов может указывать на пригодность методики исследования и полученных данных для решения других задач в области благоустройства и содержания города.

При сборе данных о деятельности УО не учитывался год опубликования информации. Регламенты работы УО, как правило, не меняются из года в год, а отчеты каждый раз представляют однотипную информацию. Найденные для составления Регистра сведения о деятельности УО накапливались на информационных ресурсах предположительно с 2016 г. А так как «Реформа ЖКХ»

существует с 2007 г., данные Регистра могут содержать сведения о работе УО за более продолжительный период начиная с 2007 г. Точный период опубликования сведений установить невозможно.

Исследованием оказались не охвачены небольшие УО: товарищества собственников жилья и УО, в чьем управлении меньше 100 домов. Настоящее исследование является пилотажным, а разработанная методология анализа регламентов деятельности УО применялась впервые. В дальнейшем методология может быть доработана и расширена.

В регламентах деятельности УО редко конкретизируется периодичность выполнения работ. Например, поливка тротуаров в жаркое время должна осуществляться не реже двух раз в сутки [7]. По этой же причине при составлении перечня работ не учитывались существующие ГОСТы [8, 9], на основании которых осуществляется деятельность по содержанию и благоустройству. УО обязаны следовать стандартам при выполнении работ, но проверить соответствие практики стандартам возможно только при проведении экспертизы непосредственно на придомовых территориях. Кроме того, из перечня были исключены работы, связанные с опасными отходами, а именно организация мест для накопления, накопление и передача в специализированные организации отходов I – IV классов опасности. Эти работы редко регламентируются УО, однако на многих информационных ресурсах сети Интернет ими размещаются объявления о месте сбора подобных отходов, но зачастую нет возможности узнать об актуальности размещенного объявления. Регламенты деятельности, публикуемые на сайте УО или в качестве приложения к типовому договору на ресурсах «Реформа ЖКХ» или «ГИС ЖКХ», являются наиболее достоверными источниками информации.

Представленность в регламенте УО работ и услуг формально гарантирует их исполнение в соответствии со стандартами в этой области. Предоставление жилищных и коммунальных услуг потребителям в многоквартирных домах осуществляется на основании договоров [10]. Большинство УО не раскрывают информацию о своей деятельности, что может быть связано с неэффективным общественным контролем УО (например, низкая информированность собственников жилых помещений о своих правах и обязанностях, отсутствие заинтересованности со стороны собственников и УО и т. п.). Собственники жилищного фонда могут контролировать процессы управления, переданные в ведение УО. К условиям договора возможно апеллировать при подаче жалобы или заявления в уполномоченные структуры, на основании которых впоследствии проводится проверка, в т. ч. на предмет предоставления работ и услуг в соответствии с существующими НПА, правилами и стандартами. Однако собственники многоквартирных домов могут не обладать соответствующими знаниями о том, какие работы должны выполняться на придомовой территории для поддержания ее в надлежащем состоянии. Таким образом, уже на этапе заключения договора с УО собственниками должен устанавливаться исчерпывающий перечень работ, которые будут выполняться на придомовой территории. Несмотря на отсутствие в договоре с собственниками многоквартирного дома и (или) в регламенте предоставляемых услуг, УО все равно будет нести ответственность «за оказание всех услуг и (или) выполнение работ, которые обеспечивают надлежащее содержание общего имущества в данном доме и качество которых должно соответствовать требованиям технических регламентов и установленных Правительством Российской Федерации правил содержания общего имущества в многоквартирном доме» [1].

УО обязаны раскрывать информацию об оказываемых услугах и о выполняемых работах по содержанию и ремонту общего имущества [1, 6]. Однако у 61 % найденных УО сведения не находятся в открытом доступе ни на собственном публичном электронном ресурсе, ни в «ГИС ЖКХ». Таким образом, более половины УО в России нарушают действующее законодательство, и их деятельность по благоустройству и содержанию придомовых территорий не соотносится с нормативно-правовой базой.

В этой связи невозможно осуществить эффективный общественный контроль за деятельностью УО. Многие из исследуемых УО вносят основную информацию на ресурсы «ГИС ЖКХ» и «Реформа ЖКХ», но не размещают перечни предоставляемых услуг и/или типовой договор с собственниками. Например, у 6 % от общего числа исследуемых УО Новосибирска в открытом доступе имеются соответствующие данные, в Пятигорске ни у одной (табл. 4). Организации периодически получают административные взыскания за отсутствие размещения сведений о своей деятельности в открытом доступе, но это не устраняет проблему информационной закрытости. Например, ООО «Служба заказчика ЖКХ Ленинского района» за период 2020–2022 гг. имело пять случаев привлечения к административной ответственности по ч. 1 ст. 13.19.2 КОАП [15].

Наиболее часто в регламентах УО представлены работы по благоустройству дворовых территорий. Отдельные виды услуг внутри одной категории предоставляются в большем объеме, нежели другие. Работы по содержанию мест накопления ТКО предоставляются практически в полном объеме, нежели сбор и вывоз жидких бытовых отходов. В данном случае причиной может быть отсутствие необходимости в вывозе жидких бытовых отходов с придомовых территорий, то же справедливо для других видов работ, которые редко встречаются в регламентах деятельности УО. Чаще всего выполняются работы, которые предупреждают возникновение аварийных ситуаций, порчу дорогостоящего имущества собственников и самих УО, ухудшение санитарно-эпидемиологической обстановки, вред здоровью населения; обеспечивают беспрепятственную парковку личных автомобилей жильцов и т. п. Возможно, это связано с наличием дополнительного надзора за выполнением именно этих работ со стороны следующих институтов: жилищные инспекции, департаменты и комиссии государственного и жилищного надзора, региональные операторы по обращению с ТКО, пожарные инспекции, администрации муниципалитетов, квартальные инспекторы и др.

В действующем законодательстве по содержанию придомовой территории наблюдается пробел разграничения полномочий УО и собственников многоквартирных домов. Если в договоре собственников с УО не прописан какой-либо вид услуги, то при необходимости собственники должны выполнять эту работу своими силами ввиду их ответственности за надлежащее содержание общего имущества [4]. Кроме того, информация о работах, которые проводятся ими за свой счет, не отображается ни в системе «Реформа ЖКХ», ни в «ГИС ЖКХ», ни на сайтах УО.

При проведении контент-анализа была выявлена общая тенденция: почти у всех УО отчеты о деятельности не являются показательными, например, имеется информация о доходах и расходах, но нет конкретных статей расходов, связанных с содержанием придомовой территории [14]. Это связано с отсутствием требований законодательства предоставлять такую информацию в открытом доступе в сети Интернет. Таким образом, собственники многоквартирных домов не могут осуществлять контроль за деятельностью УО, кроме способов, перечисленных в договоре. Обычно к ним относятся предусмотренные законодательством: получение от ответственных лиц не позднее 5 рабочих дней с даты обращения информации о перечнях, объемах, качестве и периодичности оказанных услуг и (или) выполненных работ, а также проведение проверки объемов, качества и периодичности оказания услуг и выполнения работ (в т. ч. путем проведения соответствующей экспертизы) [14].

При трактовке требований законодательства фактически один вид работ может подразумевать несколько других. Согласно табл. 4, только 9 % УО регламентируют очистку крышек люков колодцев и пожарных гидрантов от снега и льда. Но этот вид услуги может входить в состав услуги по очистке придомовой территории от снега наносного происхождения, которую предоставляют 76 % УО. Иногда в регламентах присутствовали работы, не относящиеся к минимально необходимым для надлежащего содержания и благоустройства придомовой территории, однако их можно было бы отнести к одной из категорий работ. Наличие подобных услуг может быть обусловлено муниципальным законодательством, или же такие услуги

предоставляются при наличии запроса со стороны собственников многоквартирных домов.

Выявленные индикаторы содержания придомовых территорий позволили провести ранжирование городов по выполнению УО требований законодательства по содержанию и благоустройству придомовых территорий. Ранжирование городов (рис. 1 и 2) показало, что лидирующие позиции занимают не Санкт-Петербург и Москва. Это объясняется тем, что большинство УО в Москве и Санкт-Петербурге раскрывают информацию о своей деятельности по содержанию придомовых территорий. В регионах раскрывает информацию о своей деятельности меньшая доля УО. Предположительно такие УО наиболее ответственны и созданы на основе бывших муниципальных организаций. Также было отмечено, что УО, в чьем управлении находятся вновь построенные дома (например, ЗАО «УК «Академический», Екатеринбург), лучше выполняют требования федерального законодательства. Кроме того, возможно, надзор в регионах в сфере раскрытия информации УО более лоялен, нежели в городах федерального значения. В ходе исследования наблюдается тенденция: чем больше домов в ведении УО, тем выше степень раскрытия информации и, предположительно, количество предоставляемых услуг. При этом количество предоставляемых услуг не может характеризовать их качество в полной мере.

5. Выводы

1. Большинство УО не раскрывают информацию о своей деятельности в сфере содержания придомовых территорий.

2. Наблюдаются пробелы в законодательстве: не разграничивается ответственность собственников и УО за отдельные виды работ в сфере содержания придомовых территорий; различные виды услуг могут трактоваться одинаково, что может повлиять на регламентацию деятельности и отчетность управляющих организаций.

3. Наблюдается диспропорция (дисбаланс) в раскрытии информации между городами федерального значения и другими центрами федеральных округов. В регионах объем раскрываемой информации на порядок меньше, чем в Москве и Санкт-Петербурге.

4. Необходимость освещения доступности информации о деятельности УО была выявлена на этапе сбора данных, ввиду возникшей проблемы закрытости необходимых для проведения изначального исследования сведений.

5. Количество предоставляемых услуг в регламентах и отчетах деятельности УО не гарантирует качество их выполнения, это количество невозможно проверить. Кроме того, состав этих услуг не гарантирует выполнения требований по обеспечению экологической безопасности окружающей среды городов.

6. В новом ГОСТ Р 70346-2022 есть критерии и требования, направленные на снижение загрязнения придомовых территорий. Введение этого стандарта, возможно, поможет в будущем улучшить отчетность, будет способствовать осуществлению эффективного общественного контроля, послужит основой для других нормативных регулирующих документов, будет стимулировать развитие технологий и в целом повысит эффективность выполнения задач по содержанию и благоустройству придомовых территорий. На данный момент стандарт носит рекомендательный характер, но есть основания полагать, что рейтинг, составляемый на основании данного стандарта, будет эффективным средством регулирования данной сферы. Подобные рейтинги наравне с нефинансовой отчетностью являются показателем для инвесторов и иных регуляторов перспективности долгосрочного инвестирования в компании и проекты.

6. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 18-77-10024-П.

7. Список литературы

1. Жилищный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 188-ФЗ (ред. от 14.07.2022) // СПС КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51057/ (дата обращения: 15.03.2023)
2. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ // СПС КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 15.03.2023)
3. Указ Президента Российской Федерации от 13.05.2000 № 849 «О полномочном представителе Президента Российской Федерации в федеральном округе» // СПС КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_23329/ (дата обращения: 15.03.2023)
4. Постановление Правительства РФ от 03.04.2013 № 290 (ред. от 29.06.2020) «О минимальном перечне услуг и работ, необходимых для обеспечения надлежащего содержания общего имущества в многоквартирном доме, и порядке их оказания и выполнения» (вместе с «Правилами оказания услуг и выполнения работ, необходимых для обеспечения надлежащего содержания общего имущества в многоквартирном доме») // СПС КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144804/ (дата обращения: 15.03.2023)
5. Постановление Правительства РФ от 13.08.2006 № 491 (ред. от 03.02.2022) «Об утверждении Правил содержания общего имущества в многоквартирном доме и правил изменения размера платы за содержание жилого помещения в случае оказания услуг и выполнения работ по управлению, содержанию и ремонту общего имущества в многоквартирном доме ненадлежащего качества и (или) с перерывами, превышающими установленную продолжительность» // СПС КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_62293/ (дата обращения: 15.03.2023)
6. Приказ Минкомсвязи № 74, Минстроя России № 114 от 29.02.2016 (ред. от 11.09.2020) «Об утверждении состава, сроков и периодичности размещения информации поставщиками информации в государственной информационной системе жилищно-коммунального хозяйства» (Зарегистрировано в Минюсте России 30.05.2016 N 42350) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2021) // СПС КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_198895/ (дата обращения: 15.03.2023)
7. Постановление Госстроя РФ от 27.09.2003 № 170 (с изм. от 22.06.2022) «Об утверждении Правил и норм технической эксплуатации жилищного фонда» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 15.10.2003 N 5176) // СПС КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_44772/ (дата обращения: 15.03.2023)
8. Приказ Росстандарта от 30.08.2012 № 257-ст «ГОСТ Р 54964-2012 Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости» // Электронный фонд правовых и нормативных документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095015> (дата обращения: 15.03.2023)
9. Приказ Росстандарта от 27.10.2014 № 1444-ст «ГОСТ Р 56192-2014 Услуги жилищно-коммунального хозяйства и управления многоквартирными домами. Услуги содержания общего имущества многоквартирных домов. Общие требования (Переиздание)» // Электронный фонд правовых и нормативных документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200114295> (дата обращения: 15.03.2023)
10. «Методическое пособие по содержанию и ремонту жилищного фонда. МДК 2-04.2004» (утв. Госстроем России) // СПС КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93475/9af044734c0c4dfdc120198b1e900a2136c68977/ (дата обращения: 15.03.2023)
11. Долгова, В. И. Экологический стресс и отношение к месту своего проживания у старшеклассников в экологически неблагополучных местах / В. И. Долгова, Е. А. Василенко // Вестник ЮУрГГПУ. – 2016. – №10. – С.141–148.
12. Пространственно-временная динамика содержания загрязняющих веществ в коммунальных и смешанных сточных водах Барнаула / Е. Ю. Дрюпина, А. Н. Эйрих,

- С. С. Эйрих, Т. С. Папина // Известия Алтайского государственного университета. – 2014. – № 3–1(83). – С.182–187.
13. Алексей Бубнов: «Уборка объектов УДС от грязи завершена примерно на 60 %» // Официальный портал Екатеринбург рф. – URL: <https://екатеринбург.рф/news/90584-aleksey-bubnov-uborka-obektov-uds-ot-gryazi-zavershena-primerno-na-60-> (15.03.2023)
 14. Годовая бухгалтерская отчетность. Основные показатели финансово-хозяйственной деятельности. Информация об организации, осуществляющей управление многоквартирными домами // Государственная информационная система жилищно-коммунального хозяйства – URL: <https://dom.gosuslugi.ru/#!/org-info?index=1&orgRootGuid=1d787411-1bfe-426c-8de9-f79277b90afc> (15.03.2023)
 15. Информация о привлечении к административной ответственности / Информация об организации, осуществляющей управление многоквартирными домами // Государственная информационная система жилищно-коммунального хозяйства. – URL: <https://dom.gosuslugi.ru/#!/org-info?index=2&orgRootGuid=bd8cf87f-0a1f-40d5-ad69-5dda061416ba> (15.03.2023)
 16. Карточка проекта, поддержанного Российским научным фондом. – URL: https://grant.rscf.ru/prjcard_int?18-77-10024 (дата обращения: 15.03.2023)
 17. Привет, Грязьбург! Из-за потепления улицы города утонули в снежной каше // E1.ru. – URL: <https://www.e1.ru/text/gorod/2022/12/24/71926823/> (дата обращения: 15.03.2023)
 18. Распределение жилищного фонда Российской Федерации. Жилищный фонд // Реформа ЖКХ – URL: <https://www.reformagkh.ru/analytics> (дата обращения: 15.03.2023)
 19. Стратегический план развития Екатеринбурга // Официальный портал Екатеринбург.рф. – URL: <https://екатеринбург.рф/официально/стратегия> (дата обращения: 15.03.2023)
 20. Теория грязи Екатеринбурга // Информационно-аналитическое агентство УралБизнесКонсалтинг. – URL: <https://urbc.ru/1068065016-teoriya-gryazi-ekaterinburga.html>.
 21. United States Code. 42 U.S.C. §7401 et seq. // US Government Printing Office. – 1970. – URL: <https://www.govinfo.gov/app/collection/uscode/2021/> (дата обращения: 15.03.2023)
 22. EPA-841-B-05-004. National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Urban Areas. United States Environmental Protection Agency. November 2005. – URL: <https://www.epa.gov/nps/urban-runoff-national-management-measures> (15.03.2023)
 23. Alves, C. A. Chemical profiling of PM10 from urban road dust / C. A. Alves, M. Evtugina, A. M. P. Vicente [et al.] // Sci Total Environ. – 2018. – Vol. 634. – P. 41–51. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.338.
 24. Antonsen, S. Exposure to air pollution during childhood and risk of developing schizophrenia: a national cohort study / S. Antonsen, P. L. H. Mok, R. T. Webb [et al.] // The Lancet Planetary Health. – 2020. – Vol. 4(2). – P. e64–e73. – DOI: 10.1016/S2542-5196(20)30004-8.
 25. Continental-scale distributions of dust-associated bacteria and fungi / A. Barberán, J. Ladau, J. W. Leff [et al.] // PNAS. – 2015. – Vol. 112. – P. 5756–5761. – DOI: 10.1073/pnas.1420815112.
 26. Breault, R. F. Residential street-dirt accumulation rates and chemical composition, and removal efficiencies by mechanical- and vacuum-type sweepers / R. F. Breault, K. P. Smith, J. R. Sorenson // U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005-5184. – New Bedford, Massachusetts. – 2003. – P. 27.
 27. Fugitive Road Dust PM2.5 Emissions and Their Potential Health Impacts / S. Chen, X. Zhang, J. Lin [et al.] // Environ Sci Technol. – 2019. – Vol. 53. – P. 8455–8465. – DOI: 10.1021/acs.est.9b00666.
 28. Hui, N. Temporal variation in indoor transfer of dirt-associated environmental bacteria in agricultural and urban areas / N. Hui, A. Parajuli, R. Puhakka // Environment International. – 2019. – Vol. 132. – P. 105069. – DOI: 10.1016/j.envint.2019.105069.
 29. Benzo[a]pyrene in Moscow road dust: pollution levels and health risks / N. E. Kosheleva, D. V. Vlasov, I. V. Timofeev [et al.] // Environ Geochem Health. – 2022. – P. 1–26. – DOI: 10.1007/s10653-022-01287-9.
 30. Urban snow indicates pollution originating from road traffic / K. Kuoppamäki, H. Setälä, A.-L. Rantalainen, D.J. Kotze // Environmental Pollution. – 2014. – Vol. 195. – P. 56–63. – DOI: 10.1016/j.envpol.2014.08.019.
 31. The Lancet Commission on pollution and health / P. Landrigan, R. Fuller, N. Acosta [et al.] // The Lancet Commissions. – 2018. – Vol. 391. – P. 462–512. – DOI: 10.1016/S0140-6736(17)32345-0.

32. Pollution, sources, and human health risk assessment of heavy metals in urban areas around industrialization and urbanization-Northwest China / F. Li, H. Yang, R. Ayyamperumal, Y. Liu // *Chemosphere*. – 2022. – Vol. 308(2). – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.136396.
33. The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources / A. Müller, H. Österlund, J. Marsalek, M. Viklander // *Science of The Total Environment*. – 2020. – Vol. 709. – P. 136125. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.136125.
34. Total and size-fractionated mass of road-deposited sediment in the city of Prince George, British Columbia, Canada: implications for air and water quality in an urban environment. / P. N. Owens, K. Caley, S. Campbell [et. al.] // *J. Soils Sediments*. – 2011. – Vol. 11(6). – P. 1040–1051. – DOI: 10.1007/s11368-011-0383-y.
35. *Peirce, J.J.* Nonpoint Source Water Pollution / J. J. Peirce, R. F. Weiner, P. A. Vesilind // *Environmental Pollution and Control*. – 1997. – P. 137–143.
36. Air pollution, climate conditions and risk of hospital admissions for psychotic disorders in U.S. residents / X. Qiu, Y. Wei, M. Weisskopf [et al.] // *Environmental Research*. – 2023. – Vol. 216. – DOI: 10.1016/j.envres.2022.114636.
37. *Russell, K. L.* Global sediment yields from urban and urbanizing watersheds / K. L. Russell, G. J. Vietz, T. D. Fletcher // *Earth Sci. Rev.* – 2017. – Vol. 168. – P. 73–80. – DOI: 10.1016/j.earscirev.2017.04.001.
38. *Seleznev, A. A.* Assessment of Total Amount of Surface Sediment in Urban Environment Using Data on Solid Matter Content in Snow-Dirt Sludge / A. A. Seleznev, I. V. Yarmoshenko, G. P. Malinovsky // *Environ. Process.* – 2019. – Vol. 6 – P. 581–595. – DOI: 10.1007/s40710-019-00383-w.
39. *Seleznev, A. A.* Urban geochemical changes and pollution with potentially harmful elements in seven Russian cities / A. A. Seleznev, I. V. Yarmoshenko, G. P. Malinovsky // *Scientific Reports*. – 2020. – Vol. 10. – No 1. – P. 1668. DOI: 10.1038/s41598-020-58434-4.
40. *Sluchevskaya, Y.* Air pollution and violent crime / Y. Sluchevskaya, A. Kulikova // *Transportation Research Procedia*. – 2022. – Vol. 63. – P. 2268–2274. – DOI: 10.1016/j.trpro.2022.06.257.
41. *Thygesen, M.* Exposure to air pollution in early childhood and the association with Attention-Deficit Hyperactivity Disorder / M. Thygesen, G. J. Holst, B. Hansen [et al.] // *Environmental Research*. – 2020. – Vol. 183. – DOI: 10.1016/j.envres.2019.108930.
42. Landscape Study of Sediment Formation and Transport in the Urban / I. Yarmoshenko, G. Malinovsky, E. Baglaeva, A. Seleznev // *Environment. Atmosphere*. – 2020. – Vol. 11. – P. 1320. DOI: 10.3390/atmos11121320.
43. Basic Information about Nonpoint Source (NPS) Pollution // US Environmental Protection Agency. – URL: <https://www.epa.gov/nps/basic-information-about-nonpoint-source-nps-pollution> (дата обращения: 15.03.2023)
44. Polluted Runoff: Nonpoint Source (NPS) Pollution // US Environmental Protection Agency. – URL: <https://www.epa.gov/nps> (дата обращения: 15.03.2023)

Сведения об авторах:

Початкова Екатерина Ивановна, студентка Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. Эл. почта: pochatkova.ekaterina@gmail.com

Селезнев Андриан Анатольевич, к. г.-м. н., доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Института фундаментального образования Уральского федерального университета; старший научный сотрудник лаборатории урбанизированной среды ИПЭ УрО РАН.

ANALYSIS OF COMPLIANCE WITH THE LEGISLATION ON THE MAINTENANCE OF HOUSEHOLD TERRITORIES BY MANAGING ORGANIZATIONS IN RUSSIAN CITIES

E. I. Pochatkova ¹, A. A. Seleznev ^{1,2}

¹ Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

² Institute of Industrial Ecology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

The paper represents the results of the analysis of compliance with the legislation on the maintenance of adjacent territories by housing authorities (hereinafter - HAs) in the administrative centres of the federal districts of Russia. Based on the analysis of the federal legislation of the Russian Federation in the field of improvement and maintenance of adjacent territories the list of works to be performed by the HA is compiled. On the basis of data from Internet resources 14615 HAs were found, 150 of which were included in the sample for analysis. Using the method of content analysis, specific types of work on the improvement and maintenance of adjacent territories from the federal legislation were identified in the regulations of the HA. The large informational closedness of the HAs was noted, more than half of them violate the existing regulations governing the procedure and terms of disclosure of data on their activities. On the basis of the analysis, the cities have been ranked according to the representation of services for the maintenance of adjacent territories in the regulations of their HA as required by federal legislation. The disproportion in information disclosure between federal cities and other centres of the federal districts is observed. The authors have identified the most common categories of services in the regulations of HAs, including those works that are more likely to result in negative sanctions from the regulatory authorities for non-compliance.

Key words: urban environment; urban managing; housing authorities; maintenance; content analysis; adjacent territory; legal compliance.

References

1. Housing Code of the Russian Federation of 29.12.2004 No. 188-FZ (rev. of 14.07.2022) // ConsultantPlus. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51057/.
2. Federal Law № 7-FZ dated 10.01.2002. «About environmental protection» // СПС ConsultantPlus. - URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/.
3. Decree of the President of the Russian Federation of 13.05.2000 № 849 «About the Plenipotentiary Representative of the President of the Russian Federation in the Federal District» // СПС ConsultantPlus. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_23329/.
4. Resolution of the Government of the Russian Federation of 03.04.2013 № 290 (ed. on 29.06.2020) «On the minimum list of services and works required to ensure proper maintenance of the common property in an apartment building, and the order of their provision and performance» (together with the «Rules of services and works required to ensure proper maintenance of common property in an apartment building») // ConsultantPlus. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144804/.
5. Government Decree of 13.08.2006 № 491 (ed. dated 03.02.2022) «On approval of the Rules of maintenance of the common property in an apartment building and the rules for changing the fee for the contents of the premises in the case of provision of services and works on management, maintenance and repair of common property in an apartment building of improper quality and (or) interruptions exceeding the established duration» // СПС ConsultantPlus. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_62293/.
6. Order of the Ministry of Communications № 74, the Ministry of Construction of Russia № 114 of 29.02.2016 (ed. on 11.09.2020) «On approval of the composition, timing and frequency of provision of information by providers of information in the state information system of housing and

- communal services» (registered with Ministry of Justice of Russia 30.05.2016 N 42350) (with amendments and additions, in force from 01.01.2021) // ConsultantPlus. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_198895/.
7. Gosstroy RF Decree of 27.09.2003 № 170 (as amended on 22.06.2022) «On Approval of the Rules and norms of technical operation of the housing stock» (registered with Ministry of Justice 15.10.2003 N 5176) // СПС ConsultantPlus. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_44772/.
 8. Order of Rosstandart dated 30.08.2012 No. 257-st «GOST R 54964-2012 Conformity Assessment. Environmental requirements for real estate objects» // Electronic Fund of Legal and Regulatory Documents. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095015>.
 9. Rosstandart's Order No. 1444-st dated 27.10.2014 «GOST R 56192-2014 Services of Housing and Communal Services and Management of Apartment Buildings. Services of maintenance of the common property of apartment buildings. General requirements (Reprint)» // Electronic fund of legal and regulatory documents. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200114295>.
 10. «Methodological Guide for Maintenance and Repair of the Housing Fund. MDK 2-04.2004» (approved by Gosstroem of Russia) // СПС ConsultantPlus. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93475/9af044734c0c4dfdc120198b1e900a2136c68977/.
 11. Dolgova V. I. Environmental stress and attitudes to the place of residence of the pupils of the senior classes living in the areas of ecological trouble / V. I. Dolgova, E. A. Vasilenko // Bulletin of SUSPU. – 2016. – Vol. 10. – P.141 – 148.
 12. Dryupina, E. Yu. Spatiotemporal dynamics of pollutants content in municipal and mixed wastewaters of Barnaul / E.Yu. Dryupina A.N. Eirikh, S.S. Eirikh, T.S. Papina // Izvestiya of Altai State University Journal. – 2014. – Vol. 3-1(83). – P.182–187.
 13. Aleksey Bubnov: «Cleaning of UDS objects from dirt is completed by about 60%» // Official portal of Yekaterinburg rf. – URL: <https://екатеринбург.рф/news/90584-aleksey-bubnov-uborka-obektov-uds-ot-gryazi-zavershena-primerno-na-60->.
 14. Annual Accounting Statements / Key Indicators of Financial and Economic Activity / Information on the Organization Carrying out Management of Multi-Family Buildings // State Information System of Housing and Communal Services – URL: <https://dom.gosuslugi.ru/#!/org-info?index=1&orgRootGuid=1d787411-1bfe-426c-8de9-f79277b90afc>.
 15. Information on bringing to administrative responsibility / Information about the organization engaged in the management of apartment buildings // State Information System of housing and communal services. – URL: <https://dom.gosuslugi.ru/#!/org-info?index=2&orgRootGuid=bd8cf87f-0a1f-40d5-ad69-5dda061416ba>.
 16. Card of the project supported by the Russian Science Foundation. – URL: https://grant.rscf.ru/prjcard_int?18-77-10024.
 17. Hello, Gryazburg! Because of warm weather the streets of the city are drowned in snow slush // E1.ru. – URL: <https://www.e1.ru/text/gorod/2022/12/24/71926823/>.
 18. Distribution of housing fund of the Russian Federation / Housing fund // Housing and utilities reform – URL: <https://www.reformagkh.ru/analytics>.
 19. Ekaterinburg Strategic Development Plan // Official portal of Ekaterinburg.rf. – URL: <https://екатеринбург.рф/официально/стратегия>.
 20. Dirt theory of Yekaterinburg // Information and analytical agency UralBusinessConsulting. – URL: <https://urbc.ru/1068065016-teoriya-gryazi-ekaterinburga.html>.
 21. United States Code. 42 U.S.C. §7401 et seq. // US Government Printing Office. – 1970. – URL: <https://www.govinfo.gov/app/collection/uscode/2021/>.
 22. EPA-841-B-05-004. National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Urban Areas. United States Environmental Protection Agency. November 2005. – URL: <https://www.epa.gov/nps/urban-runoff-national-management-measures>.

23. *Alves, C.A.* Chemical profiling of PM10 from urban road dust / C.A. Alves, M. Evtyugina, A.M.P. Vicente, E.D. Vicente, T.V. Nunes, P.M.A. Silva, M. Duarte, C. Pio, F. Amato, X. Querol // *Sci Total Environ.* – 2018. – Vol. 634. – P. 41–51. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.338.
24. *Antonsen, S.* Exposure to air pollution during childhood and risk of developing schizophrenia: a national cohort study / S. Antonsen, P. L. H. Mok, R. T. Webb, P. B. Mortensen, E. Agerbo, J. Brandt, C. Geels, J. H. Christensen, C. B. Pedersen // *The Lancet Planetary Health.* – 2020. – Vol. 4(2). – P. e64–e73. – DOI: 10.1016/S2542-5196(20)30004-8.
25. *Barberán, A.* Continental-scale distributions of dust-associated bacteria and fungi / A. Barberán, J. Ladau, J.W. Leff [et al.] // *PNAS.* – 2015. – Vol. 112. – P. 5756–5761. DOI: 10.1073/pnas.1420815112.
26. *Breault, R.F.* Residential street-dirt accumulation rates and chemical composition, and removal efficiencies by mechanical- and vacuum-type sweepers / R.F. Breault, K.P. Smith, J.R. Sorenson // *U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005-5184.* – New Bedford, Massachusetts. – 2003. – P. 27.
27. *Chen, S.* Fugitive Road Dust PM2.5 Emissions and Their Potential Health Impacts / S. Chen, X. Zhang, J. Lin, J. Huang, D. Zhao, T. Yuan, K. Huang, Y. Luo, Z. Jia, Z. Zang Y. Qiu, L. Xie // *Environ Sci Technol.* – 2019. – Vol. 53. – P. 8455–8465. DOI: 10.1021/acs.est.9b00666.
28. *Hui, N.* Temporal variation in indoor transfer of dirt-associated environmental bacteria in agricultural and urban areas / N. Hui, A. Parajuli, R. Puhakka // *Environment International.* – 2019. – Vol. 132. – P. 105069. DOI: 10.1016/j.envint.2019.105069.
29. *Kosheleva, N.E.* Benzo[a]pyrene in Moscow road dust: pollution levels and health risks / N.E. Kosheleva, D.V. Vlasov, I.V. Timofeev [et al.] // *Environ Geochem Health.* – 2022. – P. 1–26. DOI: 10.1007/s10653-022-01287-9.
30. *Kuoppamäki, K.* Urban snow indicates pollution originating from road traffic / K. Kuoppamäki, H. Setälä, A.-L. Rantalainen, D.J. Kotze // *Environmental Pollution.* – 2014. – Vol. 195. – P. 56–63. DOI: 10.1016/j.envpol.2014.08.019.
31. *Landrigan, P.* The Lancet Commission on pollution and health / P. Landrigan, R. Fuller, N. Acosta, O. Adeyi, R. Arnold, N. Basu // *The Lancet Commissions.* – 2018. – Vol. 391. – P. 462–512. – DOI: 10.1016/S0140-6736(17)32345-0.
32. *Li, F.* Pollution, sources, and human health risk assessment of heavy metals in urban areas around industrialization and urbanization-Northwest China / F. Li, H. Yang, R. Ayyamperumal, Y. Liu // *Chemosphere.* – 2022. – Vol. 308(2). – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.136396.
33. *Müller, A.* The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources / A. Müller, H. Österlund, J. Marsalek, M. Viklander // *Science of The Total Environment.* – 2020. – Vol. 709. – P. 136125. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.136125.
34. *Owens, P. N.* Total and size-fractionated mass of road-deposited sediment in the city of Prince George, British Columbia, Canada: implications for air and water quality in an urban environment. / P. N. Owens, K. Caley, S. Campbell et. al. // *J. Soils Sediments.* – 2011. – Vol. 11(6). – P. 1040–1051. DOI: 10.1007/s11368-011-0383-y.
35. *Peirce, J.J.* Nonpoint Source Water Pollution / J.J. Peirce, R.F. Weiner, P.A. Vesilind // *Environmental Pollution and Control.* – 1997. – P. 137–143.
36. *Qiu, X.* Air pollution, climate conditions and risk of hospital admissions for psychotic disorders in U.S. residents / X. Qiu, Y. Wei, M. Weisskopf, A. Spiro, L. Shi, E. Castro, B. Coull, P. Koutrakis, J. Schwartz // *Environmental Research.* – 2023. – Vol. 216. DOI: 10.1016/j.envres.2022.114636.
37. *Russell, K. L.* Global sediment yields from urban and urbanizing watersheds / K. L. Russell, G. J. Vietz, T. D. Fletcher // *Earth Sci. Rev.* – 2017. – Vol. 168. – P. 73–80. DOI: 10.1016/j.earscirev.2017.04.001.
38. *Seleznev, A. A.* Assessment of Total Amount of Surface Sediment in Urban Environment Using Data on Solid Matter Content in Snow-Dirt Sludge / Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Malinovsky G. P. // *Environ. Process.* – 2019. – Vol. 6. – P. 581–595. DOI: 10.1007/s40710-019-00383-w.

39. Seleznev, A. A. Urban geochemical changes and pollution with potentially harmful elements in seven Russian cities / A. A. Seleznev, I. V. Yarmoshenko, G. P. Malinovsky // *Scientific Reports*. – 2020. – Vol. 10. – No 1. – P. 1668. DOI: 10.1038/s41598-020-58434-4.
40. Sluchevskaya, Y. Air pollution and violent crime / Y. Sluchevskaya, A. Kulikova // *Transportation Research Procedia*. – 2022. – Vol. 63. – P. 2268–2274. – DOI: 10.1016/j.trpro.2022.06.257.
41. Thygesen, M. Exposure to air pollution in early childhood and the association with Attention-Deficit Hyperactivity Disorder / M. Thygesen, G. J. Holst, B. Hansen, C. Geels, A. Kalkbrenner, D. Schendel, J. Brandt, C. B. Pedersen, S. Dalsgaard // *Environmental Research*. – 2020. – Vol. 183. – DOI: 10.1016/j.envres.2019.108930.
42. Yarmoshenko, I. A Landscape Study of Sediment Formation and Transport in the Urban / I. Yarmoshenko, G. Malinovsky, E. Baglaeva, A. Seleznev // *Environment. Atmosphere*. – 2020. – Vol. 11. – P. 1320. DOI: 10.3390/atmos11121320.
43. Basic Information about Nonpoint Source (NPS) Pollution // US Environmental Protection Agency. – URL: <https://www.epa.gov/nps/basic-information-about-nonpoint-source-nps-pollution>.
44. Polluted Runoff: Nonpoint Source (NPS) Pollution // US Environmental Protection Agency. – URL: <https://www.epa.gov/nps>.