



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра геоэкологии, природопользования и экологической безопасности

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(Магистерская диссертация)

На тему: «Радиоэкологическое состояние почвенного покрова на
территории ядерного полигона Новая Земля»

Исполнитель Андреева Мария Алексеевна

Руководитель доктор биологических наук, профессор
Витковская Светлана Евгеньевна

Заведующий кафедрой _____

(подпись)

кандидат географических наук, доцент

Дроздов Владимир Владимирович

« 6 » июня 2022 г.

Санкт–Петербург
2022

Оглавление

Введение	4
Глава 1. Ядерные испытания на территории ядерного полигона Новая Земля и физико-географическая характеристика архипелага	7
1.1 История проведения ядерных испытаний	7
1.2 Географическое положение	15
1.3 Климат	15
1.4 Гидрологические условия	16
1.5 Рельеф	16
1.6 Структура и особенности формирования почвенного покрова	17
1.7 Флора и фауна	18
Глава 2. Радиоэкологические последствия ядерных испытаний на территории ядерного полигона Новая Земля	20
2.1 Радиоэкологические последствия проведения ядерных испытаний для компонентов природной среды	20
2.1.1 Поражающие факторы ядерных взрывов	20
2.1.2 Воздействие техногенных радионуклидов на живые организмы	23
2.2 Радиоэкологические исследования Новоземельского полигона в 1960-1990гг.	30
2.3 Возможные пути миграции радионуклидов	38
Глава 3. Объекты и методы исследования	40
3.1 Объекты исследования	40
3.2 Методы исследования	41
3.2.1 Полевая гамма-съемка	41
3.2.2 Отбор и подготовка проб	43
3.2.3 Определение гамма-, альфа- и бета-излучающих радионуклидов	44
3.2.4 Лабораторные опыты	47
3.2.4.1 Выщелачивание в псевдодинамических условиях	47

3.2.4.2 Приготовление модельного раствора	53
Глава 4. Оценка радиэкологического состояния почвенного покрова на территории ядерного полигона Новая Земля	55
4.1. Результаты измерений мощности дозы гамма-излучения на территории приустьевой площадки штольни А-37А	55
4.2 Результаты содержания радионуклидов в пробах грунта	58
4.3 Результаты опытов по выщелачиванию	79
Выводы	101
Список использованной литературы	103
Приложение 1	116
Приложение 2	117
Приложение 3	118

Введение

Среди уникальных арктических регионов своей удивительной природой выделяется архипелаг Новая Земля, где можно увидеть типичных северных представителей флоры и фауны. Но особенность островов Новой Земли заключается не только в этом (Ядерный..., 1995; Ядерные..., 1997; Ядерные..., 2002; Лысенко и др., 2017).

В 1955 году на архипелаге Новая Земля был создан Центральный ядерный полигон СССР для проведения всех видов ядерных испытаний (Ядерные..., 1992; Ядерные..., 1997; Ядерные..., 2000; Ядерные..., 2002).

В настоящее время уникальная природа архипелага несёт на себе отпечаток прошлого и современного антропогенного воздействия, связанного с испытанием ядерного вооружения, а также с захоронением радиоактивных отходов (РАО) и последствиями трансграничного переноса радиоактивных изотопов от заводов по переработке ядерного топлива в Великобритании и во Франции (200 ядерных..., 1993; Логачев, 1995; Логачев и др., 1996; Ядерные..., 2002).

По прошествии несколько десятков лет после проведения ядерных испытаний одними из наиболее опасных оставшихся техногенных радионуклидов являются долгоживущие продукты деления ^{90}Sr ($T_{1/2} = 28,8$ года), ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30,1$ лет), и остаточное ядерное горючее – изотопы плутония, периоды полураспада которых составляют для ^{238}Pu $T_{1/2} = 87,7$ лет, для ^{239}Pu $T_{1/2} = 24065$ лет, а для ^{240}Pu $T_{1/2} = 6537$ лет. Накопление ^{241}Am ($T_{1/2} = 432,6$ года) является следствием распада ^{241}Pu , имеющего период полураспада 14,3 года, доля активности которого со временем только увеличивается, достигая 10% и более (Действие..., 1965; Трансурановые..., 1985; Смирнова, 2000; Субботин и др., 2014).

В связи с этим, актуальны исследования, направленные на контроль и анализ распространения радиоактивных изотопов природного и

антропогенного происхождения в почвенном покрове архипелага Новая Земля (Крячюнас и др., 2017; Крячюнас и др., 2020).

Мониторинг изменений основных радиационных характеристик, таких как удельная альфа-, бета- и гамма-активность радионуклидов, мощность дозы гамма-излучения, с течением времени имеет важное теоретическое и практическое значение для оценки радиэкологического состояния загрязненных территорий (Радиация..., 1988; Израэль, 1990; Александров, 2007).

Актуальным является также исследование закономерностей процессов выщелачивания радионуклидов из грунтов, поскольку в настоящий момент выход техногенных радионуклидов за пределы радиоактивных зон происходит в основном за счет выщелачивания. Степень и скорость выщелачивания долгоживущих радиоактивных изотопов из грунтов с территорий проведения подземных ядерных взрывов (ПЯВ) на ядерном полигоне Новая Земля важны для оценки радиэкологического состояния загрязненных территорий (Дубасов и др., 2012; Субботин и др., 2014; Раимканова и др., 2019).

Цель настоящей работы заключается в оценке степени радиоактивного загрязнения почвенного покрова на территории ядерного полигона Новая Земля.

Задачи:

- 1) ознакомиться с историей проведения ядерных испытаний на полигоне и дать краткую характеристику физико-географическим условиям, структуре и особенностям формирования почвенного покрова на архипелаге Новая Земля;
- 2) определить основные последствия ядерных испытаний для различных компонентов окружающей природной среды и охарактеризовать радиэкологическое состояние полигона в 1960-1990гг. на основе ранее проведенных исследований;

- 3) проанализировать основные возможные пути миграции радионуклидов на территории ядерного полигона;
- 4) экспериментально определить степень и скорость выщелачивания техногенных радионуклидов из грунтов, используя метод псевдо- или полудинамического выщелачивания;
- 5) на основании анализа теоретических и экспериментальных данных дать оценку современному радиоэкологическому состоянию почвенного покрова на территории ядерного полигона Новая Земля.

Работа изложена на 118 страницах компьютерного текста, состоит из введения, четырех глав и выводов. Содержит 24 рисунка, 15 таблиц и 3 приложения. Список использованной литературы содержит 121 источник.

Автор выражает благодарность сотрудникам лаборатории радиоэкологического мониторинга АО «Радиовый институт им. В.Г. Хлопина», в частности начальнику лаборатории Пилютик Александре Александровне, за предоставление материалов, проб грунта, возможность использовать помещения 3 класса, лабораторное оборудование, за помощь в проведении экспериментов и комментарии к работе. Особую благодарность автор хотел бы выразить своему научному руководителю доктору биологических наук, профессору Витковской Светлане Евгеньевне за ценные советы и помощь на всех этапах написания настоящей работы, а также рецензенту.

Выводы

- 1) Архипелаг Новая Земля является уникальным и ценным природным арктическим регионом. Растительные и животные сообщества до сих пор сохраняют свое естественное состояние. Экологическая значимость архипелага заключается также в том, что здесь в 1955 году был создан ядерный полигон, на котором в период с 1955 по 1990гг. испытывали все виды ядерного вооружения.
- 2) Следствием проведения ядерных испытаний является радиоактивное загрязнение территории архипелага долгоживущими радионуклидами ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am , которые мигрируют в почве и сопредельных средах и представляют опасность для здоровья человека. Результаты ранее проведенных исследований свидетельствовали о том, что среднее значение плотности загрязнения ^{137}Cs на территории всего архипелага в общем составляло 90мКи/км^2 .
- 3) Миграция радионуклидов в системе почва-грунтовые воды существенно зависит от скорости выщелачивания радионуклидов из твердой фазы почвы.
- 4) Лабораторные опыты доказали, что при большей выдержке фаз, то есть применение нестандартного метода по выщелачиванию, результаты являются наиболее информативными.
- 5) В условиях лабораторных экспериментов установлено, что наибольшей степенью выщелачивания характеризуется цезий-137. Степень выщелачивания данного радионуклида из образцов грунта изменялась от 0,012 до 7,7%, скорость выщелачивания составила от $1,1 \cdot 10^{-7}$ до $6,4 \cdot 10^{-4}$ г·см⁻²·сут⁻¹. Скорость выщелачивания существенно зависела от продолжительности контакта твердой и жидкой фаз. Наиболее интенсивный переход радионуклида в раствор наблюдали в период 1 до 12 суток.

- 6) Выявлено, что трансурановые элементы (америций-241, изотопы плутония) не выщелачивались из исследуемых образцов грунта или выщелачивались в незначительных количествах, даже из наиболее загрязненных проб грунта.
- 7) Результаты лабораторных исследований указывают на достаточно прочную фиксацию долгоживущих радиоактивных изотопов подземного ядерного взрыва (выщелачивание трансурановых элементов не наблюдалось, а для отдельных сильнозагрязненных образцов в раствор в небольших количествах переходил только цезий-137).
- 8) Испытания ядерного вооружения на территории полигона Новая Земля привели к локальному радиоактивному загрязнению почвенного покрова на технологических площадках. В настоящее время на территории полигона и прилегающих к нему районов содержание радионуклидов в почве соответствует фоновым уровням, однако, при этом является необходимым дальнейшее проведение радиоэкологического мониторинга на территории ядерного полигона.

Список использованной литературы

1. 200 ядерных полигонов СССР: География радиационных катастроф и загрязнений / В.И. Булатов – Новосибирск: ЦЭРИС, 1993. – 88 с.
2. Александров Ю.А. Основы радиационной экологии: Учеб. пособие. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2007. – 268 с.
3. Андрияшин И.А. 55 лет Центральному полигону. Полигон на Новой Земле / И.А. Андрияшин, А.К. Чернышев А.К. // Атом. – 2010. № 46. – С. 2-15
4. Атомное наследие холодной войны на дне Арктики. Радиоэкологические и технико-экономические проблемы радиационной реабилитации морей / [А.А. Саркисов и др.]. – М.: Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2015. – 699 с.: ил.
5. Бадрутдинов О.Р. Радиоактивность экосистем / О.Р. Бадрутдинов, Р.С. Тюменев, Э.А. Шурлев. – Казань: Казан. ун-т, 2017. – 201 с.
6. Баженов В.А. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества: Справочник / [В.А. Баженов и др.]; Под ред. В.А. Филовой. – Л.: Химия, 1990. 464 с.
7. Бахур А.Е. Методы определения изотопов плутония в радиоэкологии / [А.Е. Бахур и др.] // «АНРИ». – 2003. – № 2(33). – С. 2-8
8. Бекман И.Н. Экологическая радиохимия и радиоэкология: Учебное пособие в 7 т. / И.Н. Бекман. – М.: Издатель Мархотин П.Ю., 2015. – 400 с.
9. Бетенеков Н.Д. Радиоэкологический мониторинг: Учеб. пособие / Н.Д. Бетенеков. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 208 с.
10. Богдевич И.М. Вертикальная миграция радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах земель запаса и доступность их растениям / [И.М. Богдевич и др.]. – Минск: Институт почвоведения и агрохимии НАН. – 2013. – № 3. – С. 58-70
11. Бочаров М.В. Глобальное радиоактивное загрязнение природной среды Северного полушария и вклад в него советских ядерных испытаний / [М.В. Бочаров и др.] // Атомная энергия. – 1995. Т. 78. – вып. 1. – С. 50-53

12. Булдаков Л.А. Радиоактивное излучение и здоровье / Л.А. Булдаков, В.С. Калистратова – М.: Информ-Атом, 2003. – 165 с.
13. Бушуев А.В. Исследование содержания плутония и ^{241}Am в почве районов проведения мирных ядерных взрывов у-рентгеновским методом / [А.В. Бушуев и др.] // Атомная энергия. – 2000. Т. 88. – вып. 1. – С. 52-55.
14. Бэгли К. Плутоний и его сплавы / пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1958. – 48 с.
15. Василенков С.В. Технология выщелачивания радионуклида цезия из почвы / С.В. Василенков // Природообустройство. – 2015. – № 5. – С. 59-63
16. Габбасов М.Н. Радиоактивное загрязнение территории Семипалатинского полигона / [М.Н. Габбасов и др.] // Атомная энергия. – 1995. Т. 78. – вып. 1. – С. 58-60
17. Геология Советской Арктики / под общ. ред. Ф.Г. Маркова и Д.В. Наливкина. – М.: Госгеолтехиздат, 1957. – 521 с.
18. Горяченкова Т.А. Методы изучения форм нахождения плутонии в объектах окружающей среды / Т.А. Горяченкова, И.Е. Казинская // Радиохимия. – 2005. – Т. 47. – N 6. – С. 550-555
19. Горяченкова Т.А. Миграционная подвижность плутония и америция в почвах в зависимости от добавок природных и модифицированных органических соединений / [Т.А. Горяченкова и др.] // Радиохимия. – 2013. Т. 55. – N 6. – С. 553-560
20. Горяченкова Т.А. Содержание техногенных радионуклидов в воде, донных отложениях и бентосе Карского моря и мелководных заливов архипелага Новая Земля / [Т.А. Горяченкова и др.] // Геохимия. – 2019. Т. 64. – № 12. – С. 1261-1268
21. ГОСТ 17.4.3.01-2017 Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к отбору проб (утв. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 июня 2018 г. N 302-ст). – М.: Стандартинформ, 2018. – 8 с.

22.ГОСТ Р 50926-96 Отходы высокоактивные отвержденные. Общие технические требования (утв. Постановлением Госстандарта России от 18 июля 1996 г. № 467). – М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. – 8 с.

23.ГОСТ Р 54363-2011 Полевые геофизические исследования. Термины и определения (утв. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 июля 2011 г. № 197-ст). – М.: Стандартиформ, 2012. – 24 с.

24.Гращенко С.М. Определение загрязненности почв Киева изотопами плутония в июне-июле 1986 года / С.М. Гращенко, В.Н. Струков // Труды Радиового института им. В.Г. Хлопина – 2009. – Т. XIV. – С. 76-78

25.Действие ядерного оружия / пер. с англ. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Воениздат, 1965. – 680 с.

26.Довнар А.К. Радиохимические методы определения изотопов плутония и америция в объектах окружающей среды альфа-спектрометрией / А.К. Довнар, А.В. Лысенкова // Проблемы здоровья и экологии. – 2012. – С. 111-117

27.Дубасов Ю.В. Выщелачивание радионуклидов из образцов радиоактивного шлака наземного ядерного взрыва на побережье Губы Черной архипелага Новая Земля / Ю.В. Дубасов, А.А. Пилюттик, Б.О. Шагин // Радиохимия. – 2019. Т. 61. – N 1. – С. 80-83

28.Дубасов Ю.В. Выщелачивание радионуклидов из продуктов подземных ядерных взрывов в граните: эксперименты с радиоактивными образцами расплавленной породы из полостей взрывов на Семипалатинском полигоне / Ю.В. Дубасов, Е.А. Смирнова, С.И. Малимонова // Радиохимия. – 2012. Т. 54. – N 3. – С. 274-282

29.Дубасов Ю.В. Исследование сорбции долгоживущих радионуклидов основными типами горных пород архипелага Новая Земля / Ю.В. Дубасов, А.А. Пилюттик, Б.О. Шагин // Радиохимия. – 2017. Т. 59. – N 2. – С. 179-182

30.Журавлев В.Ф. Токсикология радиоактивных веществ / В.Ф. Журавлев. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 336 с.

- 31.Забродский В.Н. Определение ^{90}Sr , ^{238}Pu , $^{239, 240}\text{Pu}$, ^{241}Pu и ^{241}Am в почвах Чернобыльской зоны с применением различных способов подготовки проб / В.Н. Забродский, Ю.И. Бондарь // Радиохимия. – 2006. – Т. 48. – N 1. – С. 83-86
- 32.Зыкова Е.Н. Распределение ^{137}Cs , ^{40}K , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ и некоторых тяжелых металлов в пробах почвы с участков вокруг Северодвинского промышленного района / [Е.Н. Зыкова и др.] // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 7. – С. 77-81
- 33.Иванов Е.А. Радиоактивное загрязнение окружающей среды ^{241}Am вследствие аварии на Чернобыльской АЭС / [Е.А. Иванов и др.] // Атомная энергия. – 1994. Т. 77. – вып. 2. – С. 140-145.
- 34.Израэль Ю.А. Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред / [Ю.А. Израэль и др.]. – Л.: Гидрометиздат, 1990. – 223 с.
- 35.Ильин Г.В. Радиоэкологическое состояние среды морских экосистем Арктики в условиях современного природопользования / [Г.В. Ильин и др.] // Океанология. – 2020. – вып. 7. – № 4(11). – С. 260-274
- 36.Ильин Л.А. Радиоактивные вещества и раны: Метаболизм и декорпорация / Л.А. Ильин, А.Т. Иванников. – М.: Атомиздат, 1979. – 256 с.
- 37.Ионизирующие излучения: источники и биологические эффекты. – Нью-Йорк: НКДАР ООН, 1982. Т. 1. – 882 с.
- 38.ИП «Альфа-спектрометрический метод анализа. Методика выполнения измерений активности и удельной активности радионуклидов плутоний-238;-239;-240 в объектах окружающей среды» (ФР.1.38.2018.29586). – СПб.: АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», 2018. – 29 с.
- 39.ИП «Методика изготовления счетных образцов из проб объектов окружающей среды для определения содержания радионуклидов». – СПб.: АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», 2018. – 100 с.
- 40.Испытания ядерного оружия и ядерные взрывы в мирных целях СССР 1949-1990 гг. / под ред. В.Н. Михайлова. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1996. – 66 с.

41. Каймин Е.П. Взаимодействие радионуклидов с техногенно преобразованными породами / [Е.П. Каймин и др.] // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2008. – № 1. – С. 29-38
42. Калистратова В.С. Радиобиология инкорпорированных радионуклидов / В.С. Калистратова, И.К. Беляев, Е.С. Жорова. – Изд-во ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2012. – 464 с.
43. Карпухин А.И. Распределение ^{137}Cs по группам и молекулярно-массовым фракциям гумусовых веществ / А.Н. Карпухин, А. Илахун, С.П. Торшин // Известия ТСХА. – 2009. – вып. 3. – С. 169-173
44. Кесслер Г. Ядерная энергетика / пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 263 с.
45. Коноплев А.В. Трансформация форм нахождения ^{90}Sr и ^{137}Cs в почве и донных отложениях / А.В. Коноплев, А.А. Булгаков // Атомная энергия. – 2000. Т. 88. – вып. 1. – С. 55-60
46. Котхари Д.С. Ядерные взрывы / пер. с англ. / под ред. Н.Ф.Кравцовой. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1958. – 196 с.
47. Кочетков А.Н. Система функционирования ядерного полигона Новая Земля / А.Н. Кочетков, Р.А. Кочетов, С.В. Стягов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2018. – С. 456-458
48. Крупская В.В. Минеральный состав почв и донных осадков заливов архипелага Новая Земля / [В.В. Крупская и др.] // Океанология. – 2017. Т. 57. – № 1. – С. 238-245
49. Крячюнас В.В. Миграция естественных и техногенных радионуклидов в Арктических почвах побережья залива Моллера (Новая Земля) / [В.В. Крячюнас и др.] // Сборник трудов конференции. – 2017. – С. 1613-1616
50. Кузин А.М. Стимулирующее действие ионизирующего излучения на биологические процессы. – М.: Атомиздат, 1977. – 275 с.
51. Кундузбаева А.Е. Формы нахождения искусственных радионуклидов в почвах объекта “Атомное озеро” Семипалатинского испытательного

полигона / [А.Е. Кундузбавева и др.] // Радиационная биология. Радиозэкология. – 2017. Т. 57. – № 4. – С. 399-413

52.Лаверов Н.П. Геохимическая структура и радиационное состояние прибрежных ландшафтов заливов Карского моря Новой Земли / [Н.П. Лаверов и др.] // Доклады Академии наук. – 2016. Т. 467. – № 3. – С. 342-346

53.Ли Д.Е. Действие радиации на живые клетки. – М.: Госатомиздат, 1963. – 288 с.

54.Лисаченко Э.П. Формирование радиационного фактора при использовании подземных вод в промышленности / Э.П. Лисаченко // Радиационная гигиена. – 2014. – № 7(2). – С. 50-54

55.Логачев В.А. Масштабы и степень радиоактивного загрязнения территории и возможные дозы облучения населения Российской Федерации после проведения ядерных испытаний в атмосфере на Новоземельском полигоне. Доклад для парламентских слушаний в Совете Федерации России / В.А. Логачев. – М.: 1995. – 19 с.

56.Логачев В.А. Оценка радиационной обстановки на территории РФ после испытаний ядерного оружия в атмосфере на полигонах СССР и определение степени ее влияния на здоровье населения отдельных регионов. Отчет о НИР / [В.А. Логачев и др.]. – М.: Фонды ГНЦ РФ-ИБФ. – 1996. – 36 с.

57.Лозовая З.В. Агрехимические свойства и гранулометрический состав почв как факторы, влияющие на поступление радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растения на минеральных почвах [Исследование биодоступности радионуклидов для многолетних злаковых трав. (Белоруссия)] / З.В. Лозовая, В.Ю. Агеец // Экологическая безопасность в АПК. – 2009. – N 6. – С. 45-47

58.Лысенко М.Н. Арктика. Опыт и перспективы международно-правового сотрудничества в ядерной сфере / [М.Н. Лысенко и др.] // Московский журнал международного права. – 2017. – № 1. – С. 88-97

59. Малахова А.Н. Прогнозирование поступления техногенных радионуклидов в окружающую среду из остеклованных матриц ВАО подземных хранилищ скважинного типа / А.Н. Малахова // Экологический мониторинг и моделирование экосистем. – 2021. – Т. 32. – № 1-2. – С. 93-106

60. Мартюшов В.З. Ландшафтно-геохимические особенности поведения плутония в почвенном покрове Восточно-Уральского государственного заповедника / В.З. Мартюшов, Л.А. Рерих // Вопросы радиационной безопасности. – 2007. – Спец. вып. – С.91-99.

61. Махонько К.П., Вертикальная миграция и плотность загрязнения ¹³⁷Cs почвы южного Забайкалья / К.П. Махонько, В.И. Медведев // Атомная энергия. – 2000. Т. 88. – вып. 3. – С. 207-213

62. Мацуда Х., Хаяси К. Ядерное оружие и человек / пер. с англ. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1959. – 309 с.

63. Медведев В.П. Физические основы радиохимии: Учеб. пособие / В.П. Медведев, О.В. Очкин, М.А. Семенов / Под ред. А.В. Очкина. – М.: НИИУ МИФИ, 2011. – 188 с.

64. Меррей Р.Л. Атомная энергетика / пер. с англ. / под общ. ред. проф. Э.Э. Шпильрайна. – М.: Изд-во «Энергия», 1979. – 280 с.

65. Методика измерений активности (удельной активности) гамма-излучающих радионуклидов в счетных образцах с применением полупроводникового спектрометра энергии гамма-излучения с программным обеспечением «EcoGamma» МВК 15.1.13-16 (ФР.1.40.2017.26085). – СПб.: АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», 2017. – 60 с.

66. Микше Ф.О. Атомное оружие и армии / пер. с немец. / под ред. генерал-майора И.Н. Соболева. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1956. – 240 с.

67. Мирные ядерные взрывы: обеспечение общей и радиационной безопасности при их проведении. / Кол. авторов под рук. проф. В.А. Логачева. – М.: Изд.АТ, 2001. – 519 с., ил.

68.Мирошников А.Ю. Радиоэкологические исследования на севере архипелага Новая Земля / [А.Ю. Мирошников и др.] // Океанология. – 2017. Т. 57. – № 1. – С. 227-237

69.МУ 2.6.1.2838-11 Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности: Методические указания. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. – 26 с.

70.Мюнцингер Ф. Атомная энергия / пер. с немец. / под ред. П.А. Петрова. – М.: Госэнергоиздат, 1957. – 112 с.

71.Мясоедов Б.Ф. Радиохимия – наука настоящего и будущего / Б.Ф. Мясоедов // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 2. Химия. – 2009. Т. 50, – № 5. – С. 291-296

72.Никитин А. Америций – след цивилизации / А. Никитин, С. Гриневич, Р. Король // Наука и инновации. – 2013. – № 1(119). – С. 61-64

73.Нилова Е.К. Оценка современных уровней ^{241}Am и ^{137}Cs в почве, продуктах питания, доз внутреннего облучения жителей населенных пунктов, прилегающих к зоне отселения Чернобыльской АЭС (на примере Брагинского района Гомельской области Беларуси) / Е.К. Нилова и др. // Радиационная гигиена. – 2020. – Т. 13. – №3. – С. 25-37

74.Новая Земля. Экспедиция 1921-1927 гг. под начальством Р.Л. Самойловича. Сборник статей // Труды Института по Изучению Севера. – 1929. Вып. 40. – М.: Издание научно-технического управления ВСНХ. – 360 с.

75.Новиков А.П. Модель миграции плутония в почвах / [А.П. Новиков и др.] // Геохимия. – 2013. – № 6. – С. 570-576

76.Носкова Л.М. Влияние физико-химического и механического составов техногенно загрязненных почв на миграцию урана, радия и тория / Л.М. Носкова, И.И. Шуктомова // Вестник ИБ. – 2011. – № 1-2. – С. 36-39

77. Носкова Л.М. Особенности распределения радия в техногенных почвах в зависимости от их физико-механических и минералогических характеристик / Л.М. Носкова, И.И. Шуктомова // Геохимия. – 2015. – № 11. – С. 1043-1050

78. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2020 год / под ред. Г.М. Черногаева, Л.Р. Журавлева и др. – М.: Росгидромет, 2021. – 247 с.

79. Одинцов А.А. Определение степени растворения топливной компоненты выпадений в почвах ближней зоны Чернобыльской АЭС / А.А. Одинцов // Сборник научных практик института ядерных исследований. – 2003. – № 1(9). – С. 82-90

80. Орлов М.Ю. Загрязнение почвы Брянской и Рязанской областей долгоживущими радионуклидами вследствие аварии на Чернобыльской АЭС / [М.Ю. Орлов и др.] // Атомная энергия. – 1995. Т. 79. – вып. 3. – С. 233-235.

81. Павлоцкая Ф.И. Миграция плутония в почвах / Ф.И. Павлоцкая, Т.А. Горяченкова, Б.Ф. Мясоедов // Атомная энергия. – 1986. Т. 61. – вып. 3. – С. 195-198.

82. Павлоцкая Ф.И. Поведение $^{239,240}\text{Pu}$ в почвах на следе после аварии на Южном Урале в 1957 г. / [Ф.И. Павлоцкая и др.] // Атомная энергия. – 1992. Т. 73. – вып. 1. – С. 32-36.

83. Пасецкий В.М. Первооткрыватели Новой Земли. – М.: Наука, 1980. – 192 с.

84. Першина Н.А. Анализ химического состава атмосферных осадков и снежного покрова на территории о. Большевик (архипелаг Северная Земля) / [Н.А. Першина и др.] // Экологический мониторинг и моделирование экосистем. – 2021. – Т. XXXII. – № 3-4. – С. 71-85

85. Плутоний. Сборник докладов иностранных ученых / пер. с англ. и франц. // Сборник докладов иностранных ученых. – М.: Атомиздат, 1964. – 556 с.

86. Попов А.О. Особенности формирования дозовых нагрузок на население регионов Крайнего Севера России / А.О. Попов, В.В. Чугунов. – Труды Межд. Конф. – СПб.: Гидрометиздат, 2000. – 198 с.

87. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2020 г. Ежегодник. – Обнинск, 2021. – 330 с.

88. Радиация. Дозы, эффекты, риск / пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 79 с.

89. Радиоэкологическая обстановка в регионах расположения предприятий Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» / под общ. ред. И.И. Линге и И.И. Крышева. – М., 2021. – 555 с.: ил.

90. Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязненных территорий / Под ред. чл.-корр. РАН Н.И. Санжаровой и проф. С.В. Фесенко. – М.: РАН. – 2018 – 278 с.

91. Раимканова А.М. Оценка влияния физико-химических факторов на процессы выщелачивания радионуклидов из грунта / [А.М. Раимканова и др.] // Радиохимия. – 2019. Т. 61. – N 5. – С. 439-445

92. Рамзаев П.В. Оценка радиационной обстановки и состояние здоровья населения районов, прилегающих к Новоземельскому испытательному полигону. Отчет о НИР / [П.В. Рамзаев и др]. – Фонды С.-Петербургского НИИРГ, 1992. – 142 с.; прилож.

93. Рихванов Л.П. Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиоэкологии: Учеб. пособие / Л.П. Рихванов. – Томск: СТУ, 2009. – 430 с.

94. Романов А.М. Прослеживание миграции радионуклидов в недрах из очагов подземных ядерных взрывов / А.М. Романов. – Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2017. – С. 353-357

95. Романчук А.Ю. Поведение плутония в окружающей среде / [А.Ю. Романчук и др.] // Успехи химии. – 2016. – Т. 85. – вып. 9. – С. 995-1010

96. СанПиН 2.6.1.2523-09 Санитарные правила и нормативы. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 74 с.

97. Семенец Е.С. Химический состав атмосферных осадков Российского Заполярья / Е.С. Семенец, П.Ф. Свистов, А.С. Талаш // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. – № 3. – С. 27-36

98. Семенков И.Н. Физико-географическая характеристика архипелага Новая Земля (литературный обзор), 2020. – 40 с.

99. Сиборг Г.Т. Искусственные трансурановые элементы / пер. с англ. / под ред. А.К. Лаврухиной. – М.: Атомиздат, 1965. – 168 с.

100. Смирнова Е.А. Выщелачивание радионуклидов из почвы и частиц радиоактивных выпадений 30-километровой зоны ЧАЭС (1987-1991 гг.) / Е.А. Смирнова, Ю.В. Дубасов, В.Г. Савоненков // Труды Радиевого института им. В.Г. Хлопина – 2009. – Т. XIV. – С. 118-124

101. Смирнова Е.А. Искусственные радионуклиды в окружающей среде: Препринт Ри-254 / Е.А. Смирнова, В.Г. Савоненков, Ю.В. Дубасов. – М.: ЦНИИАтоминформ, 2000. – 82 с.

102. Содди Ф. История атомной энергии / пер. с англ. / под ред. А.Н. Кривомазова и Д.Н. Трифонова. – М.: Атомиздат, 1979. – 288 с.

103. СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010). – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 83 с.

104. Субботин С.Б. Сорбционные свойства горных пород на территории бывшего Семипалатинского полигона / [С.Б. Субботин и др.] // Радиохимия. – 2014. – Т. 56. – №5. – С. 477-480

105. Сыч Ю.Г. Радиоэкологическая обстановка на архипелаге Новая Земля / Ю.Г. Сыч // Арктика: экология и экономика. – 2012. – № 1(5). – С. 48-59

106. Трансурановые элементы в окружающей среде / пер. с англ. / под ред. У.С. Хэнсона. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 344 с.
107. Труды геологического института. Том 1 / Под ред. В.А. Обручева и М.Б. Едемского. – Л.: Изд-во Академии наук, 1932. – 224 с.
108. Цевелев М.П. Изучение параметров выщелачивания радионуклидов из графитовых кладок ПУГР / [М.П. Цевелев и др.] // Вопросы радиационной безопасности. – 2010. – № 1. – С. 35-44
109. Швыдко Н.С. Авария на ЧАЭС и уровни облучения изотопами плутония жителей Брянской области / Н.С. Швыдко, Э.Б. Ершов // Радиационная гигиена. – 2008. – № 1(3). – С. 36-41
110. Яблоков А.В. Миф о безопасности и эффективности мирных подземных ядерных взрывов. – М.: ЦЭПР, 2003. – 176 с.
111. Ядерные взрывы в СССР. Северный испытательный полигон Вып.1. – М., 1992. – 198 с.
112. Ядерные испытания СССР. Новоземельский полигон: обеспечение общей и радиационной безопасности ядерных испытаний. / Кол. авт. под рук. В.А. Логачева. – М.: ИздАТ, 2000. – 487 с., ил.
113. Ядерные испытания СССР. Современное радиозэкологическое состояние полигонов. / Кол. авт. под рук. В.А. Логачева. – М.: ИздАТ, 2002. – 639 с., ил.
114. Ядерные испытания СССР. Цели. Общие характеристики. Организация ядерных испытаний СССР. Первые ядерные испытания / под общ. ред. И.А. Андрюшина. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1997. – 288 с.
115. Ядерные испытания. Ядерные испытания в Арктике, научно-публицистическая монография Книга 1, Том 1 (в двух частях) / под ред. В.Н. Михайлова. М.: Изд-во «Картуш», 2006. – 464 с., ил.
116. Ядерные испытания. Ядерные испытания в Арктике, научно-публицистическая монография Книга 1, Том 2 (в двух частях) / под ред. В.Н. Михайлова. М.: Изд-во «Картуш», 2006. – 464 с., ил.

117. Ядерный архипелаг (Составитель Б.И. Огородников). – М.: ИздАТ, 1995. – 256 с.: ил.
118. Khalturin V.I., et al. A Review of Nuclear Testing by the Soviet Union at Novaya Zemlya, 1955-1990 // Science and Global Security, 2005, Volume 13, p. 1-42
119. Radiological problems and challenges in the Soviet Union. – D: /Wp/ USSR / Obninsk. 1990
120. Smith J.N., et al. $^{239,240}\text{Pu}$ transport into the Arctic Ocean from underwater nuclear tests in Chernaya Bay. // Novaya Zemlya. Continental Shelf Research. 20, 255-279 (2000).
121. Thomas B. Cochran and Robert S. Norris Soviet Nuclear Warhead Production Nuclear Weapons Data book. Working papers. – N.J.: N.R.D.C., 1991. – 68 p.