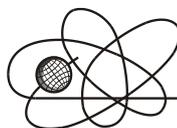




Российская Академия Наук

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**



ИБРАЭ

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**NUCLEAR SAFETY
INSTITUTE**

Препринт ИБРАЭ № IBRAE-2020-01

Preprint IBRAE-2020-01

**Д. В. Арон, Е. А. Ильичев, В. П. Меркушов, И. И. Линге,
Е. М. Мелихова, С. В. Панченко, А. М. Шведов, А. В. Шикин**

**РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ГРУНТА
НА УЧАСТКЕ СТРОИТЕЛЬСТВА
ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ХОРДЫ: ОЦЕНКА
И ПРОГНОЗ СОСТОЯНИЯ РАДИАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ**

Москва
2020

Moscow
2020

Арон Д. В. Радиоактивное загрязнение грунта на участке строительства Юго-Восточной хорды: оценка и прогноз состояния радиационной безопасности населения / Д. В. Арон, Е. А. Ильичев, В. П. Меркушов, И. И. Линге, Е. М. Мелихова, С. В. Панченко, А. М. Шведов, А. В. Шикин — (Препринт / Ин-т проблем безопас. развития атом. энергетики РАН, № IBRAE-2020-01). — М.: ИБРАЭ РАН, 2020. — 44 с. — Библиогр.: 103 назв. — 120 экз.

В работе представлены результаты анализа сложившейся радиационной обстановки и прогноз при реализации работ по сооружению участка Юго-Восточной хорды вблизи границ Московского завода полиметаллов. Возникший в 2019 году экологический конфликт рассматривается с позиций радиационной безопасности и коммуникации рисков. Кроме чисто научных результатов в препринте приводится общая характеристика радиационной обстановки в городе, кратко излагаются базовые принципы обеспечения радиационной защиты населения в случае обнаружения радиационных аномалий и кратко описывается действующая в городе система обеспечения радиационной безопасности населения. Материалы дополнены ссылками, позволяющими лучше понять масштаб радиационных рисков, а они пренебрежимо малы в сравнении иными техногенными рисками, сопровождающими жизнь москвичей. Издание рассчитано на самый широкий круг читателей – от узких специалистов до общественных деятелей и активистов-экологов.

©ИБРАЭ РАН, 2020

Aron, D. Radioactive contamination of the ground at the construction site of the Southeast Chord: assessment and projections of radiation safety of the population / D. V. Aron, E. A. Ilyichev, V. P. Merkushov, I. I. Linge, E. M. Melikhova, S. V. Panchenko, A. M. Shvedov, A. V. Shikin — (Preprint / Nuclear Safety Institute RAS, April 2020, № IBRAE-2020-01). — Moscow: NSI RAS, 2020. — 44 p. — Bibliogr.: 120 items

The paper presents the results of the analysis of the existing radiation situation and projection for the case of the construction of a section of the Southeast Chord near the borders of the Moscow Polymetal Plant. The environmental conflict that arose in 2019 is considered from the standpoint of radiation safety and risk communication. In addition to purely scientific results, the preprint provides a general description of the radiation situation in the city, the basic principles for ensuring radiation protection of the population in case of detection of radiation anomalies, and briefly describes the city's radiation safety provision system. The paper is supplemented with links allowing a better understanding of the scale of radiation risks, and they are negligible in comparison with other technological risks that accompany the life of Muscovites. The publication is designed for a wide range of readers - from narrow specialists to public figures and environmental activists.

©Nuclear Safety Institute, 2020

Радиоактивное загрязнение грунта на участке строительства Юго-Восточной хорды: оценка и прогноз состояния радиационной безопасности населения

*Арон Д. В., Ильичев Е. А., Меркушов В. П., Линге И. И.,
Мелихова Е. М., Панченко С. В., Шведов А. М., Шикин А. В.*

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
115191, Москва, ул. Б. Тульская, 52
тел.: (495) 955-22-60, эл. почта: e_mel@ibrae.ac.ru

Содержание

Предисловие	4
Введение	4
1 Состояние ядерной и радиационной безопасности в Москве	5
1.1 Развитие системы обеспечения радиационной безопасности	5
1.2 Система радиационного мониторинга	7
1.3 Ликвидация прошлых радиоэкологических проблем	10
1.4 Система радиационной защиты: международно-признанные подходы	11
2 Участки загрязнения в районе строительства Юго-Восточной хорды	15
2.1 История вопроса	15
2.2 Анализ радиационного загрязнения в полосе отвода хорды в 2019 году	18
2.2.1 Данные из открытых источников	18
2.2.2 Результаты собственных обследований	20
2.2.3 Общая оценка данных по радиоактивному загрязнению	22
2.3 Дозы дополнительного облучения от участка радиоактивного загрязнения	26
2.3.1 Оценка запаса радиоактивных веществ	27
2.3.2 Оценка доз облучения населения	28
2.4 Итоги оценки и прогноза радиационной обстановки и доз облучения	31
3 Обсуждение	32
3.1 Опыт реабилитационных работ в районах плотной жилой застройки	32
3.2 Выбор экологических приоритетов	33
3.3 Сравнительный анализ рисков	35
3.4 Анализ с позиций коммуникации риска	36
Заключение	38
Благодарности	38
Литература	39

Предисловие

Целевое назначение Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук с момента его создания и по настоящее время состоит в расширении и углублении фундаментальных исследований, создающих основу для обеспечения безопасности атомной энергетики. Важной стороной этой деятельности являются и суждения о состоянии безопасности как отдельных установок и комплексов, так и их персонала, населения и окружающей среды. В сферу деятельности Института также входит рассмотрение различного рода непроектных ситуаций и аварий, включая тяжелые аварии на АЭС. Работы Института в указанных областях хорошо известны в России и мире.

Во многих случаях специалисты Института начинают анализировать проблемные ситуации в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности без каких-либо поручений сверху. Так было после землетрясения в Японии, когда Технический кризисный центр ИБРАЭ уже в первые часы после аварии на АЭС «Фукусима-1» приступил к оценке последствий, в том числе для территории России. Спустя несколько часов после организации оперативного штаба Росатома эксперты ИБРАЭ обеспечили выработку ключевых оценок сложившейся ситуации. Так было в 2013 году при радиационном инциденте в г. Электросталь. Становление этого направления деятельности в Институте прошло под непосредственным руководством профессора Р. В. Арутюняна, который ушел из жизни вследствие тяжелой болезни в декабре 2019 года. Более детально с этими сторонами деятельности ИБРАЭ можно познакомиться по книгам, написанным с активным участием Р. В. Арутюняна. Соответствующие ссылки в препринте имеются.

В начале декабря 2019 года представительница жителей района Москворечье-Сабурово О. Н. Сорокина обратилась к заместителю директора Института И. И. Линге за помощью в объективной оценке ситуации, складывающейся в районе железнодорожной платформы Москворечье в связи со строительством новой автомагистрали. Накопленный Институтом экспертный потенциал в области анализа безопасности ситуаций, связанных с прошлой работой предприятий ядерно-топливного цикла, однозначно показывал, что в радиационном плане ситуация не является острой, то есть что какие-либо негативные последствия для здоровья населения полностью исключены. Тем не менее, с учетом возникшего общественного беспокойства в Институте была организована необходимая экспертиза, которая включала ограниченное количество измерений и взятие проб на загрязненном участке, их анализ и проведение необходимых расчетов.

Результаты этой оценки безопасности изложены в форме препринта. Материалы дополнены ссылками, позволяющими лучше понять масштаб рисков, а они пренебрежимо малы в сравнении иными техногенными рисками, сопровождающими жизнь москвичей.

Научный руководитель ИБРАЭ РАН,
Академик РАН

Л. А. Большов

Введение

Техногенная радиация как реально воздействующий фактор уже давно не входит в число наиболее острых экологических проблем России, хотя количество потенциально опасных объектов, требующих их приведения в более надежное состояние, еще велико. На решение этих проблем направлены мероприятия государственных программ. Среди фактически и ежедневно действующих на россиян вредных факторов окружающей среды лидируют выхлопные газы автотранспорта, выбросы и сбросы промышленных и коммунальных предприятий, которые иногда отягощаются воздействием полигонов захоронения отходов производства и потребления [1,2]. Тем не менее, изредка вопросы обеспечения радиационной безопасности попадают в фокус общественного внимания. В последнее десятилетие таких событий было относительно немного: в 2017 широко обсуждалась обнаружение рутения в атмосферном воздухе, в 2013 году – радиационный инцидент в г. Электросталь, в 2011 году – авария на АЭС Фукусима. В анализе этих событий и оценке потенциальных радиационных рисков для населения активное участие принимали и специалисты ИБРАЭ РАН [3].

В Москве ситуация аналогична общероссийской. На протяжении многих лет радиационная обстановка в целом стабильна и не вызывает особого беспокойства ни у специалистов [4], ни у населения. Информационные всплески, как правило, были связаны с обнаружением на рынках дикорастущих ягод с повышенным содержанием радиоцезия и регистрацией локальных загрязнений, которые достаточно бы-

стро ликвидировались. Несколько иная ситуация сформировалась в 2019 году в связи со строительством новой автомагистрали в районе железнодорожной платформы Москворечье. Сильное и устойчивое беспокойство жителей района Москворечье-Сабурово, ряда общественных организаций и интернет-СМИ было вызвано «возможным повреждением старого могильника радиационных материалов» [5]. Речь идет об относительно небольшом участке территории, прилегающем к границам Московского завода полимеров (далее МЗП).

Жители обращались с жалобами к городским властям и в разные профильные организации, включая ИБРАЭ РАН. Сразу отметим, что в работах по реабилитации объектов МЗП и мониторингу прилегающей территории на протяжении длительного периода активно участвовало специализированное московское предприятие «Радон», имеющее достаточно сильный экспертный и производственный потенциал. Специалисты ИБРАЭ ранее не работали на площадке МЗП, но накопленный научный потенциал в области изучения последствий радиационных аварий и инцидентов [6,7], ликвидации объектов ядерного наследия и реабилитации территорий [8,9,10] и практический опыт радиационных обследований [3, 11] мотивировал их провести независимую оценку радиационной обстановки на проблемном участке.

Настоящая работа представляет результаты анализа сложившейся радиационной обстановки, прогноз на случай реализации работ по сооружению участка юго-восточной хорды и оценку возникшего на этой почве экологического конфликта с позиций радиационной безопасности и коммуникации рисков. Для издания выбран формат препринта ИБРАЭ РАН. По установленным правилам препринты рассылаются в организации системы научной информации и во все заинтересованные организации. Препринты ИБРАЭ в обязательном порядке размещаются в открытом доступе на сайте Института www.ibrae.ac.ru. Таким образом, адресованный широкому кругу читателей материал может быть доступен всем.

Поскольку одни и те же оценки радиационной опасности часто интерпретируются совершенно по-разному, авторы считают нужным задать с самого начала определенный контекст. С этой целью в первой части препринта приводится общая характеристика радиационной обстановки в городе, кратко излагаются базовые принципы обеспечения радиационной защиты населения в случае обнаружения радиационных аномалий и кратко описывается действующая в городе система обеспечения радиационной безопасности населения. Во второй части анализируется текущая радиационная обстановка на проблемном участке и оцениваются возможные последствия строительства Юго-Восточной хорды с точки зрения радиационной безопасности. В третьей части обсуждаются объективные и субъективные факторы возникновения экологического конфликта, а также специфика публичной коммуникации по вопросам малого и пренебрежимо малого радиационного риска.

1 Состояние ядерной и радиационной безопасности в Москве

Из огромного числа московских организаций 19 включены в утверждаемый Правительством перечень организаций, эксплуатирующих ядерно и радиационно опасные объекты [12]. Многие из этих организаций, например, АО «Концерн Росэнергоатом», ФГУП «РосРАО» и др., имеют в Москве только свои управляющие органы, а эксплуатируемые ими ядерно и радиационно опасные объекты находятся далеко за пределами города. Непосредственно в Москве потенциально опасные объекты есть у небольшого числа организаций, включая НИЦ «Курчатовский институт» и НИЯУ «МИФИ», где есть исследовательские ядерные реакторы, в том числе остановленные. Напомним, что даже остановленные объекты использования атомной энергии требуют обслуживания для обеспечения безопасности. Безопасными их можно считать только после работ по выводу из эксплуатации и снятия с регулирующего контроля по радиационному признаку.

В последние 15 лет благодаря масштабным работам по выводу из эксплуатации прослеживается четкая тенденция снижения количества потенциально радиационно опасных объектов в городе. Раньше их было значительно больше. Подтвердим это фактами.

1.1 Развитие системы обеспечения радиационной безопасности

Москва стала центром атомной науки и техники в середине 20 века. В десятках организаций и в ряде научных лабораторий действовали ядерные установки и проводились экспериментальные исследования с ядерными и радиоактивными материалами. Эта деятельность регулировалась различного рода нормативными документами, главным образом санитарными правилами, что позволяло обеспечивать безопасность населения на приемлемом в те годы уровне. Так было вплоть до аварии на Чернобыльской АЭС. После нее правительством была организована ревизия состояния ядерной и радиационной безопасности в стране. Эксплуатация ряда ядерных установок была прекращена. Для оценки состояния безопасности продолжавших работу ядерных объектов и для проведения фундаментальных исследований в этой об-

ласти в Москве были созданы две новые организации – НТЦ «Ядерная и радиационная безопасность» в составе Госатомнадзора СССР и ИБРАЭ в составе Академии наук СССР.

В начале 1990-х годов многие работавшие на ядерный оружейный комплекс предприятия, стали сворачивать экспериментальные исследования с ядерными и радиоактивными материалами и перепрофилировались. Некоторые перестали использовать источники ионизирующего излучения и радиоактивные вещества, сменили собственников, реорганизовались. В ряде случаев это приводило к неконтрольному демонтажу радиоизотопного оборудования, загрязнению территории, вторичному использованию радиоактивного металлолома. Для оперативного реагирования на подобные радиационные инциденты и проведения дезактивационных работ в 1994 году на базе ГУП МосНПО «Радон» была создана городская служба радиационно-аварийных работ.

В 1997 году для решения вопросов защиты населения и территорий по решению Правительства Москвы была создана Московская городская система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (МГСЧС), и принят закон Москвы «О защите населения и территорий города от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» [13]. Координацией работы специализированных организаций, включая службу радиационно-аварийных работ, занялся Центр управления в кризисных ситуациях МЧС России. МГСЧС стала составной частью Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) [14].

Кардинальное изменение социально-экономических условий в стране потребовало создания более адекватной системы регулирования в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности. В 1995 году был принят федеральный закон № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии», в 1996 году закон № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения». К концу 1990-х годов формирование новой системы регулирования в основном завершилось. Ответственность за регулирование деятельности по использованию атомной энергии была закреплена за государством, ответственность за обеспечение безопасности при использовании атомной энергии – за эксплуатирующими организациями.

Благодаря развитию системы государственного управления использованием атомной энергии и системы государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии состояние ядерно-радиационной и экологической безопасности в атомной энергетике и промышленности было поднято на принципиально новый уровень. Однако для перехода к практическому решению сложных радиоэкологических проблем, накопившихся на предприятиях атомной промышленности и науки, потребовалось время и деньги. В конце прошлого века начались работы по комплексной утилизации атомных подводных лодок. В начале 2000-х годов стартовали работы по приведению в безопасное состояние радиационно-опасных объектов Курчатовского института. С 2008 года эти проблемы стали системно решаться в рамках федеральных целевых программ по ядерной и радиационной безопасности.

В период формирования федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» (далее *ФЦП ЯРБ*) Федеральное агентство по атомной энергии провело во всех субъектах РФ, в том числе в Москве, опрос по наличию проблем в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности. ФЦП ЯРБ была нацелена на ликвидацию кризисных ситуаций, чреватых значимыми радиационными рисками для населения и окружающей среды. В программу, подготовленную московскими властями, были включены мероприятия по двадцати с лишним организациям, включая Курчатовский институт (табл. 1).

В рамках ФЦП ЯРБ в 2008-2015 годах в Москве проводились работы по выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии, совершенствованию систем физической защиты объектов, улучшению условий хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, приведению объектов в соответствие с требованиями норм и правил, реабилитации территорий промышленных площадок организаций. Особую сложность представляли работы по демонтажу ядерно и радиационно опасных объектов в Курчатовском институте, а также корпуса «Б» ВНИИНМ [10]. Эти работы нужно было выполнять с учетом всего комплекса современных требований радиационной безопасности, исключающего какое-либо дополнительное радиационное воздействие на жителей мегаполиса.

Менее острые проблемы, связанные с прошлой деятельностью московских предприятий ядерного цикла, могли решаться в рамках отраслевых и городских программ обеспечения ядерной и радиационной безопасности. Такой подход был принят, например, в отношении старейшего предприятия атомной отрасли – Московского завода полиметаллов. Для обеспечения радиационной безопасности на отошедшей городу части промплощадки МЗП особо сложных работ не требовалось. Достаточно было проводить регулярные радиационные обследования и ликвидировать выявленные участки поверхностного загрязнения. Риски могли возникнуть только при изменении режима использования данной территории, но конкретных планов развития этого района в те годы не было. Реабилитация сохранившейся за МЗП территории проводилась за счет средств предприятия и московского Правительства. Наиболее загрязненные заводские корпуса были ликвидированы, образовавшиеся РАО вывезены за пределы Москвы.

Таблица 1. Основные характеристики проблемных ситуаций с обеспечением ядерной и радиационной безопасности по объектам реализации мероприятий ФЦП ЯРБ и Московскому заводу полиметаллов.

Организация	Курчатовский институт	ВНИИНМ	ВНИИХТ	НИЯУ МИФИ	Институты РАН	Московский завод полиметаллов
Опасные объекты	ИЯУ, хранилища ОЯТ и РАО, РЗТ	ЯУ, хранилища РАО, хранилище ЯМ, РЗТ	ЯУ, хранилища РАО, хранилище ЯМ, РЗТ	ИЯУ, хранилище ОЯТ и РАО	Хранилища РАО	Хранилища ЯМ, РЗТ
Опасные материалы	ЯМ, продукты деления, РАО	уран, плутоний, РАО	уран, плутоний, РАО	ОЯТ, РАО	РАО	Природные радионуклиды ураноториевого ряда, РАО
Расстояние до жилой застройки, м	250	250	100	500	100	250
Выполненные работы в рамках ФЦП ЯРБ	Ликвидированы ИЯУ (МР и РТФ), грунт.могильники, вывезена часть ОЯТ и РАО, реабилитирована часть РЗТ	Ликвидирован корпус Б и грунт.могильники, вывезены РАО, реабилитирована часть РЗТ	Ликвидирован радиохим. отсек и ПКС СО-2М, вывезены РАО, реабилитирована часть РЗТ	Вывезены ОЯТ и РАО	Вывезены РАО и ИИИ	Ликвидированы загрязненные здания, вывезены РАО, реабилитирована РЗТ
Период реализации	2008-н.в.	2008-н.в.	2008-н.в.	2008-2015	2008-н.в.	1999-2002

Примечание: ИИИ – источник ионизирующего излучения, ИЯУ- исследовательская ядерная установка, ОЯТ - отработавшее ядерное топливо, РАО – радиоактивные отходы, РЗТ – радиоактивно загрязненная территория, ЯМ – ядерные материалы, ЯУ – ядерная установка

Сегодня на территориях, где имеются объекты использования атомной энергии, вопросы безопасности, в том числе радиационной безопасности, как уже говорилось, относятся к зоне ответственности эксплуатирующих организаций. На общегородских территориях решением радиозоологических проблем занимается (в рамках контрактов с Правительством Москвы) специализированная организация атомной отрасли «Радон»¹, имеющая в Сергиево-Посадском районе Московской области полигон для безопасного хранения РАО средней и низкой активности [15]. Надзор за деятельностью спецорганизации осуществляет территориальное управление Ростехнадзора и подведомственный Роспотребнадзору Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве².

«Радон» обеспечивает постоянный мониторинг радиационной обстановки в городе. По результатам мониторинга дается оценка общей и локальной радиационной обстановки. Обобщенные результаты этого анализа находят отражение в ежегодном радиационно-гигиеническом паспорте Российской Федерации. В этом документе представлены сводные данные по загрязнению городской среды, строительных материалов, продуктов питания и питьевой воды города радиоактивными веществами; оценки средних по городу доз облучения населения от различных радиационных факторов и медицинского облучения; дается краткое описание локальных радиационных загрязнений местности и радиационных аварий и происшествий. Радиационно-гигиенический паспорт подписывает Главный государственный санитарный врач Российской Федерации [16].

Коротко остановимся на городской системе радиационного мониторинга, оценке доз облучения населения и решении прошлых радиозоологических проблем.

1.2 Система радиационного мониторинга

В состав московской системы мониторинга, являющейся частью региональной подсистемы ЕГАСМРО³, входят [17,18]:

- 6 стационарных постов радиационного контроля;
- регулярная режимная сеть радиационного контроля из 134 пунктов в старых границах Москвы и временная сеть на территории 21 населенного пункта в ТиНАО;

¹ До 2013 года организация называлась МосНПО «Радон», сейчас она именуется ФГУП «Радон».

² Федеральное бюджетное учреждение здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве». Официальный сайт <http://www.mossanexpert.ru/index.php>.

³ ЕГАСМРО - единая государственная автоматизированная система мониторинг радиационной обстановки.

- 87 пунктов радиационного контроля на режимных створах прудов, озер и малых рек водного бассейна города и 59 пунктов на режимных створах Москвы-реки;
- 85 пунктов автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО), которые в автоматизированном режиме круглосуточно измеряют мощность дозы гамма-излучения на магистралях, крупных предприятиях, в местах большого скопления людей во всех административных округах города;
- мобильные средства радиационного контроля на территории города и контролируемых участках судоходных акваторий города Москвы;
- аккредитованная лаборатория радиационного контроля для комплексных аналитических работ. Схемы расположения пунктов контроля в городе показаны на рисунках 1 и 2.

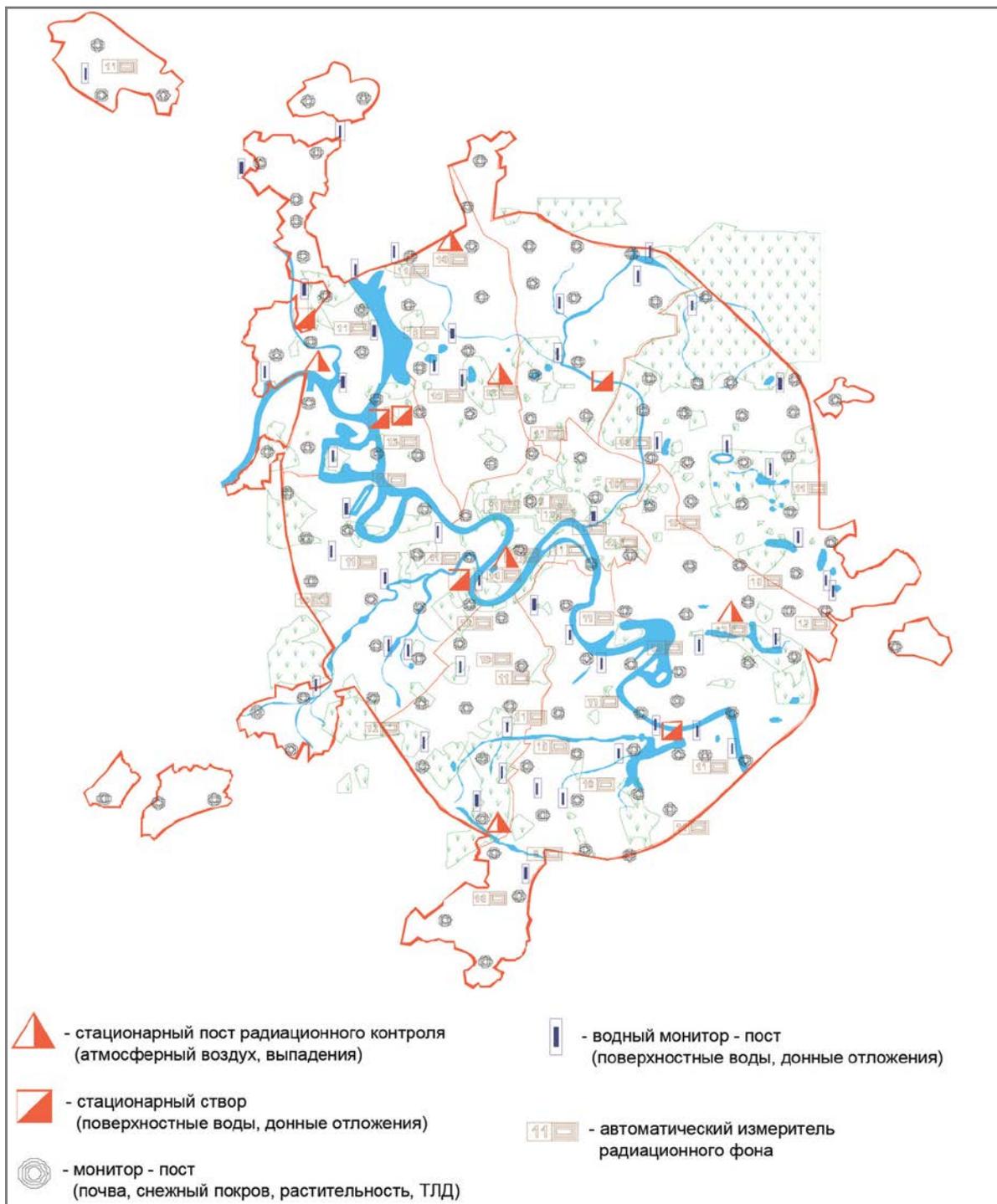


Рисунок 1 – Схема радиоэкологического мониторинга г. Москвы (в старых границах), 2018 [18]

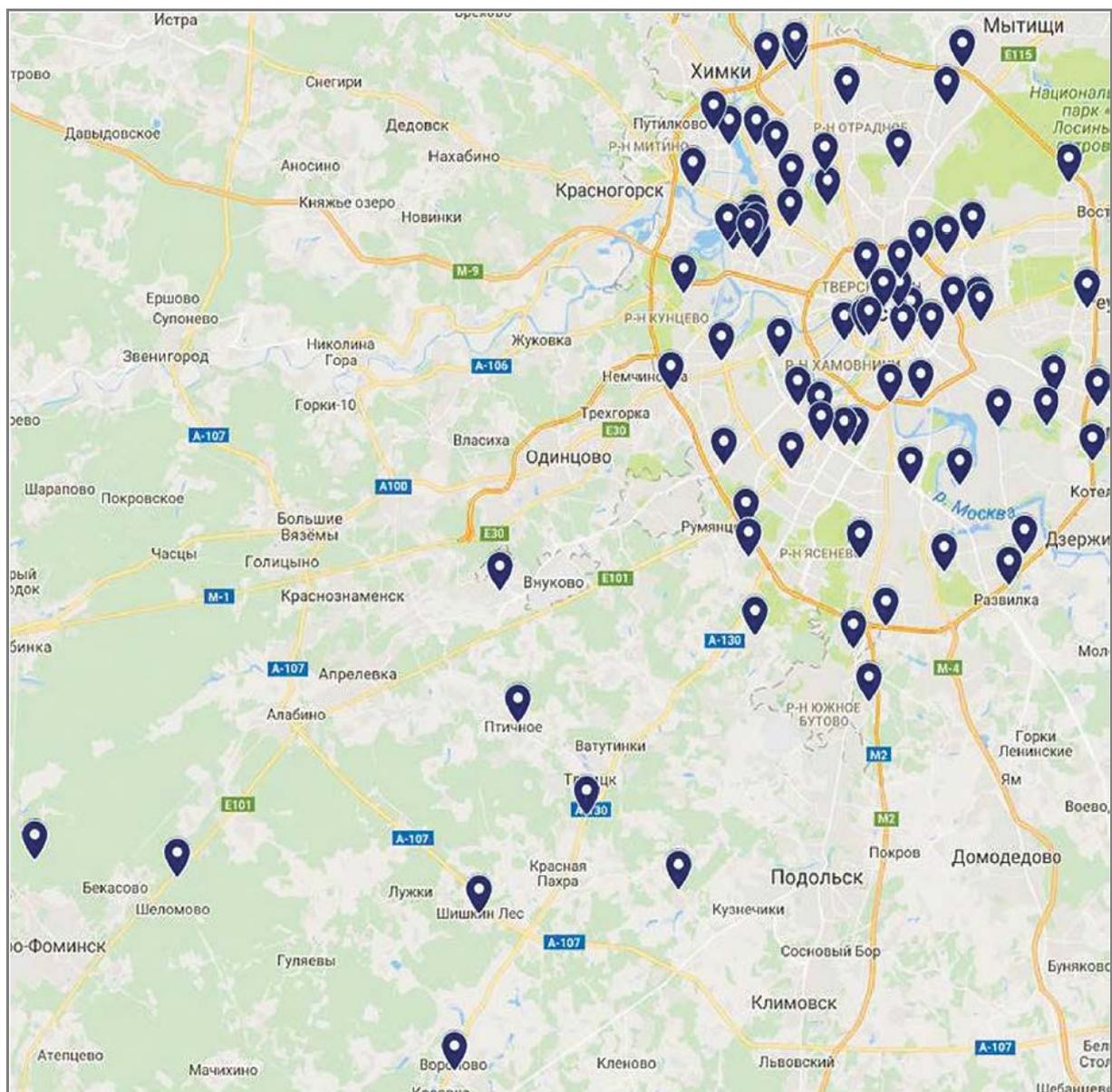


Рисунок 2 – Сеть стационарных пунктов радиоэкологического мониторинга в Москве [19]

По данным многолетнего радиационного мониторинга ситуация в городе стабильная, но неоднородная. Усредненное по городу среднегодовое значение мощности эквивалентной дозы⁴ гамма-излучения составляет $\sim 0,12$ мкЗв/ч, при этом среднесуточные значения в разных местах в пределах МКАД могут отличаться в 2-3 раза (рис.3). Максимальные среднесуточные значения радиационного фона в городе обычно не превышают контрольного уровня, установленного санитарными органами для районов жилой застройки (0,3 мкЗв/ч) [20].

По данным радиационно-гигиенической паспортизации за последние 10 лет дополнительные годовые дозы, получаемые москвичами от ядерно и радиационно опасных объектов, были настолько малы, что достоверно выделить их на фоне облучения от постоянно флуктуирующего природного фона, невозможно. Дозы, рассчитываемые по математическим моделям, были в сотни и тысячи раз меньше основного предела дозы для населения от техногенных источников 1 мЗв в год, установленного НРБ-99/2009 [21]. Участки радиоактивного загрязнения (*далее УРЗ*), которые продолжают регистрироваться в городе, не оказывают влияния на радиационную безопасность населения в силу того, что они очень ограничены по площади, а уровни радиационного загрязнения невелики. В целом радиационная обстановка в Москве оценивается надзорными органами как удовлетворительная [16].

⁴ Эквивалентная доза учитывает, что разные виды излучения (фотоны, электроны, нейтроны, протоны, альфа-частицы и др.) по-разному влияют на организм человека (см. http://nuclphys.sinp.msu.ru/radiation/rad_5.htm).

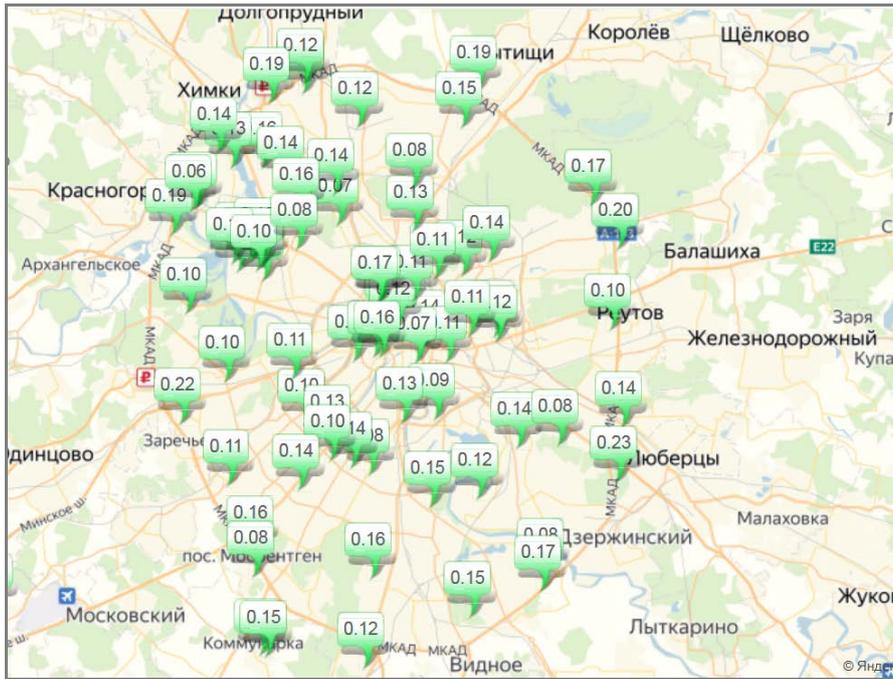


Рисунок 3 – Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в Москве по данным онлайн мониторинга ФГУП «Радон» по данным [17] по состоянию на 24.01.2020, мкЗв/ч

1.3 Ликвидация прошлых радиоэкологических проблем

Как уже упоминалось, в Москве, как, впрочем, и в целом по стране, вплоть до начала 1960 годов система учета и контроля радиоактивных веществ на предприятиях была упрощенной. Низкорadioактивные промышленные отходы, считавшиеся относительно безопасными, зачастую бесконтрольно использовались в строительстве, сваливались на пустырях, в оврагах и лесах на окраине города [23,24]. Со временем эти территории вошли в состав города, бывшие овраги и свалки были засыпаны, пустыри застроены, а информация о составе, объемах и месте нахождения промышленных отходов во многих случаях утеряна.

Работы по выявлению УРЗ начались в 1970-х, но в активную фазу вступили только в середине 1990-х. Наиболее опасные участки (по площади и/или уровню излучения) были ликвидированы к 1997 году [25] (рис. 4). Постепенно частота обнаружения новых УРЗ уменьшалась. Если в 1984-1995 гг. ежегодно регистрировалось по 30÷100 УРЗ, то в 2001 – 2012 гг. это число снизилось до 10÷14.

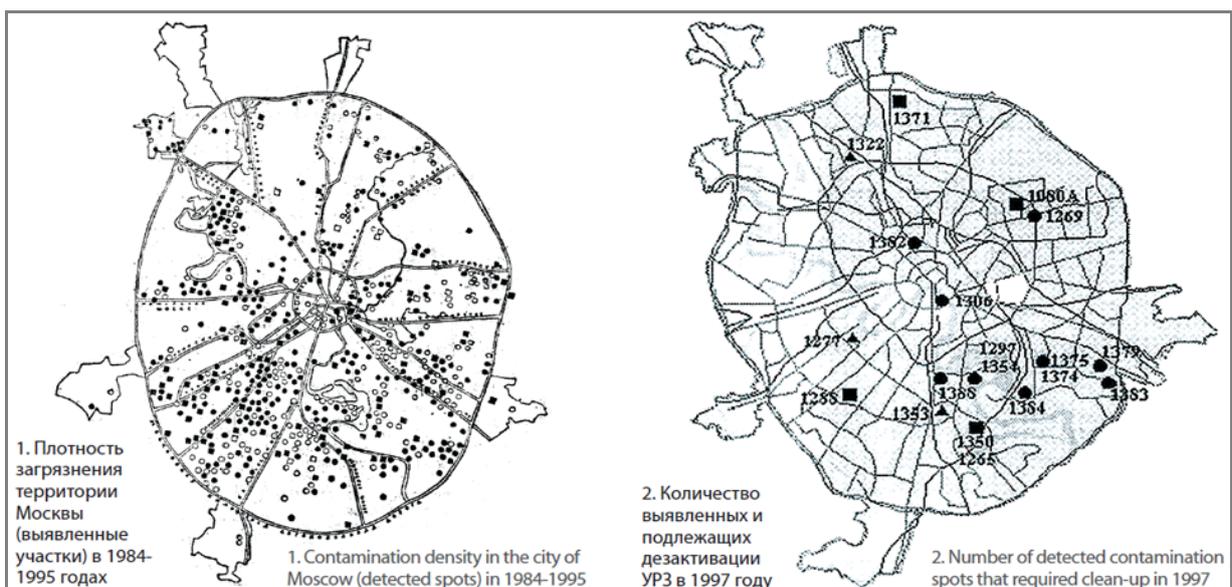


Рисунок 4 – Схема расположения УРЗ, подлежавших дезактивации в 1984/85 гг. и в 1997 г. [25]

Работы по дезактивации проводились на территории предприятий, в жилых домах, на детских площадках, стройплощадках, в музеях, лесопарках, зонах отдыха, заповедниках и т.д. Дезактивировались как отдельные предметы, так и участки территории разной площади, иногда довольно значительной по городским меркам [24]. Большинство (~ 59%) ликвидированных УРЗ были загрязнены природным ²²⁶Ra, примерно 37% – промышленными техногенными ИИИ [26].

В последнее время специалисты чаще всего регистрировали УРЗ при радиационном обследовании городских территорий, отведенных под новое строительство, а также на ранее дезактивированных участках, где после проведения земляных работ на поверхности обнаруживались более глубокие слои загрязненного грунта.

Схема организации работ при обнаружении УРЗ в Москве хорошо отработана. Специалисты «Радона» определяют порядок, характер и способ проведения дезактивации [25]. Конкретные критерии дезактивации устанавливает Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве. Органы исполнительной власти отвечают за финансирование работ, охрану аномальной зоны, при необходимости привлекают дополнительные силы и средства и контролируют сроки.

Выявленные УРЗ обычно не представляют опасности для соседних жилых кварталов, если это не так, Центр гигиены может ввести ряд ограничительных мер для предотвращения сверхнормативного облучения (прекращение работ, ограничение доступа в зону загрязнения, медицинский осмотр групп населения или персонала, эвакуацию и т.д.).

Проведение работ по дезактивации УРЗ детально регламентировано действующим Распоряжением Правительства Москвы от 9 сентября 2010 года N 05-14-325/0 «Об утверждении регламентов на отдельные виды работ» (с изменениями на 22 июня 2018 года) [27]. Например, в разделе 6.3.1. порядок дезактивационных работ на территории определен следующим образом:

- вскрытие локальных очагов и изъятие радиоактивного загрязненного материала с высокими уровнями мощности дозы гамма излучения (МЭД ГИ);
- послойное (толщина слоя до 0,1 м) вскрытие грунта или твердого покрытия на УРЗ;
- перенос образовавшейся после вскрытия слоя УРЗ массы грунта по одной лопате на площадку сортировки с фоновым значением МЭД ГИ;
- радиометрический контроль (РК) каждой порции на лопате, сортировка по результатам;
- радиационный контроль дна и бортов выработки через каждые 0,1 м вскрытия;
- отбор проб грунта и оформление сопроводительной документации на пробы в соответствии с «Методикой подготовки проб грунта и почвы ...» (МП-29-02) и доставка проб на спецтранспорте Службы в лабораторию для спектрометрического и радиометрического анализа;
- дозиметрический и радиометрический контроль персонала, приборов, оборудования;
- дезактивация приборов и оборудования, санобработка персонала.

Контроль качества и полноты удаления РАО с дезактивируемой территории проводят не только специалисты самого «Радона», но и представители санитарной службы. Дезактивация продолжается, пока результаты контрольных исследований Центра гигиены не совпадут с данными «Радона». В отдельных случаях Центр гигиены требует согласования планов работы по дезактивации, он также имеет право вносить дополнительные требования или критерии. По завершении работ Центр гигиены оформляет заключение о соответствии дезактивированной территории требованиям нормативных документов [27].

В завершение этого раздела еще раз подчеркнем, что в настоящее время радиационная безопасность москвичей обеспечена на уровне, который с *большим запасом* гарантирует защиту здоровья от вредного влияния техногенных источников ионизирующего излучения. Работы по дезактивации локальных УРЗ решают другую задачу – очистить город от мусора, в данном случае радиоактивного. При этом власти должны решить, до какой степени очищать? В этом вопросе следует ориентироваться на международно-признанные подходы.

1.4 Система радиационной защиты: международно-признанные подходы

Международная система радиационной защиты. Проблема опасности ионизирующих излучений и радиоактивных веществ начала изучаться более 120 лет назад [28]. С тех пор радиология проделала большой путь. На начальном этапе существовала уверенность в том, что если индивидуальная доза не превысит определенного порогового уровня, то вреда здоровью не будет. Поэтому первой решена задача предотвращения вреда здоровью человека при высоких дозах облучения. Когда выяснилось, что при средних и малых дозах существуют отдаленные последствия (рак и наследственные заболевания)⁵, вероятность этих эффек-

⁵ Наиболее серьезные биологические эффекты радиационного воздействия могут быть сгруппированы в две основные категории: - детерминированные эффекты (вредные тканевые реакции) по большей части связаны с гибелью или мальфункцией клеток при больших дозах излучения, и - стохастические эффекты, связанные или с развитием раковых заболеваний у облученных индивидуумов из-за мутаций в соматических клетках, или с наследуемым заболеванием у потомства облученных лиц из-за мутаций в репродуктивных(функциональных) клетках (цитируется по [33, пар.55]).

тов была снижена до разумно достижимых уровней. С 2000-х годов в орбиту радиационной безопасности кроме человека были включены другие виды живых организмов, и актуальной темой стала минимизация негативного воздействия техногенной радиации на окружающую человека флору и фауну.

Для радиационной защиты характерен беспрецедентно высокий уровень международной кооперации. К середине 1950-х, когда лидеры мировой политики признали, что испытания ядерного оружия затрагивают интересы всего человечества, в Организации объединенных наций был создан Научный комитет по действию атомной радиации (НКДАР ООН). Основная задача Комитета – сбор и анализ результатов проводимых на национальном и международном уровнях научных исследований в области изучения эффектов атомной радиации. НКДАР обобщает все надежные оценки уровней воздействия и наблюдаемых эффектов и периодически представляет их Генеральной ассамблее ООН.

На основе этих оценок Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) формулирует общие принципы и разрабатывает конкретные рекомендации для разных видов деятельности. По мере получения новых знаний о биологическом действии ионизирующих излучений и накопления практического опыта обеспечения радиационной безопасности Комиссия выпускает свои рекомендации. Ревизия рекомендаций проводится каждые 10-15 лет. Базовые принципы радиационной защиты, как правило, остаются неизменными, но меняются концепции, чаще всего изменяются операционные величины или так называемые сценарии облучения.

Рекомендации МКРЗ закрепляются в стандартах Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ). В течение 5 лет после выхода очередных рекомендаций Комиссии Агентство разрабатывает соответствующие международные нормы безопасности с учетом лучших мировых практик. Нормы МАГАТЭ по безопасности отражают международный консенсус в отношении того, что является основой высокого уровня безопасности для защиты людей и охраны окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения. Страны-члены МАГАТЭ ориентируются на них при формировании национальной системы законов, норм и правил радиационной безопасности.

Российская практика. В России все современное правовое и нормативное обеспечение базируется на общепризнанных международных принципах и подходах МКРЗ и МАГАТЭ. К основным нормативным документам относятся Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) [21], Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2010, Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002, пересматриваются) и Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов [29].

Особенность отечественной системы в том, что разные аспекты безопасности при использовании атомной энергии (технические, санитарно-гигиенические, экологические и экстремальные) регулируются разными органами. Каждый орган руководствуется, в первую очередь, федеральными законами, имеющими непосредственное отношение к его полномочиям и обязанностям. Это влияет, в том числе на нормирование производных величин, которые можно измерять инструментальными средствами, и которые, в силу этого, особенно важны в практической работе. Когда в расчет принимается не только дозовый предел, но и национальный уровень развития технологий, имеющиеся возможности контроля, а также социальные факторы, нормативы оказываются чрезмерно жесткими. Так, например, произошло после аварии на Чернобыльской АЭС, когда допустимый уровень содержания радиоцезия в почве использовался органами власти в качестве социального регулятора [30]. В связи с этими особенностями для российской системы актуальна задача выработки общего для всех ведомств алгоритма принятия нормативных решений на основе приоритета радиационной безопасности населения и окружающей среды [31].

Федеральная нормативно-правовая база берется за основу при разработке региональных и муниципальных нормативных актов по вопросам местного значения или вопросам осуществления отдельных государственных полномочий, переданных органам местного самоуправления федеральными законами и законами субъектов Российской Федерации [32]. По решению населения, органа местной власти и (или) должностного лица местные регламенты могут изменять общеобязательные или устанавливать индивидуальные правила (в рамках федеральных правил, но более жесткие) на основе квотирования основного предела дозы.

В Москве в соответствии с федеральным законодательством [33,34] обеспечение радиационной безопасности населения и территории города находится под контролем московского Правительства. Соответствующими полномочиями наделен Департамент жилищно-коммунального хозяйства и благоустройства [35]. Например, Департамент утверждает городские регламенты на проводимые специализированным предприятием работы с учетом смежных технических регламентов и городских законов [36]. При этом важно, что на муниципальном уровне действуют те же базовые принципы радиационной защиты, что и на национальном и международном уровнях.

Базовые принципы радиационной безопасности. Обеспечение радиационной защиты человека и окружающей среды основано на трех базовых принципах – обоснования, оптимизации и ограничения [37]. При этом подразумевается, что защитные меры, если они необходимы, являются вмешательством или нарушением нормальных условий жизнедеятельности.

Принцип обоснования гласит, что предполагаемое вмешательство должно быть оправданным, то есть принести больше пользы, чем вреда. Это значит, что снижение ущерба за счет уменьшения дозы должно быть достаточным, чтобы оправдать вред от вмешательства и затраты на него, включая социальные затраты.

Принцип оптимизации означает, что форма, масштаб и длительность вмешательства должны быть оптимизированы таким образом, чтобы польза от уменьшения облучения за вычетом ущерба, связанного с вмешательством, была максимальной.

Принцип ограничения означает, что индивидуальные дозы не должны превышать рекомендуемых МКРЗ и национальным законодательством дозовых пределов.

Принцип обоснования действует только для ситуаций планируемого облучения человека (за исключением медицинского облучения), два других принципа применяются также в ситуациях аварийного и существующего облучения⁶.

Отметим, что базовые принципы дополняют рационализм науки общечеловеческими ценностями: дейлай другим благо и не причиняй вреда, будь осмотрительным, действуй справедливо, уважай права других [38]. Очевидно, для поиска решений, приносящих больше пользы, чем вреда, научного прагматизма мало, нужно учитывать общепринятые этические нормы. Однако интеграция научно обоснованных и ценностно-ориентированных подходов на практике наталкивается на ряд препятствий. Одно из главных препятствий связано с общепринятым в современном международном экологическом праве этическим принципом предосторожности. Поясним это.

Наукой доказано, что при дозах меньше практического порога вредного действия радиации (< 100 мЗв) выявить вредное влияние облучения на живой организм невозможно. Но принцип предосторожности утверждает, что следует со всей ответственностью принимать во внимание риск наиболее опасного из возможных вариантов развития событий. Поэтому для регулирования риска в диапазоне малых доз МКРЗ использует гипотезу о беспороговом действии ионизирующих излучений. В результате такого подхода с начала атомной эры основной предел дозы от техногенного облучения для населения был снижен без всякого научного обоснования чисто волевым порядком с 50 до 1 мЗв/год⁷ и оказался в 100 раз меньше практического порога [39].

Однако некоторые специалисты, абсолютизирующие принцип предосторожности, утверждают, что соблюдение нормативов не обеспечивает полной безопасности населения. Хотя эта позиция не имеет достоверного научного подтверждения, она дает основания и населению, и властям стремиться к полному исключению дополнительных радиационных рисков из своей жизни, невзирая на цену вопроса. В итоге пренебрежимо малые радиационные риски вытесняют из общественного сознания и бюджета другие, зачастую более существенные риски нерадиационной природы.

Рассмотрим с этой точки зрения вопросы практической оптимизации радиационной защиты населения при реабилитации территорий, загрязненных промышленными отходами с повышенным содержанием природных радионуклидов.

Проблемы оптимизации радиационной защиты. Напомним, что согласно принципу оптимизации форма, масштаб и длительность вмешательства должны быть оптимизированы таким образом, чтобы польза от уменьшения облучения за вычетом ущерба, связанного с вмешательством, была максимальной. При этом важно, что оптимизация защиты не есть минимизация дозы. Оптимизированная защита, по определению МКРЗ, – это результат оценки, которая тщательно сбалансировала вред от облучения и ресурсы, необходимые для защиты облучаемых индивидуумов. Таким образом, наилучший вариант защиты – это не обязательно тот, при котором достигается самая низкая (дополнительная к фону) доза [37].

При ликвидации площадных УРЗ значительный потенциал оптимизации сосредоточен в критериях сортировки и выборе способов обращения с отходами дезактивации. Радиоактивные отходы (РАО) не подлежат дальнейшему использованию и должны удаляться спецтранспортом на спецполигоны (пункты) хранения. Менее загрязненные материалы и вещества можно оставлять на месте, удалять на свалки про-

⁶ «Ситуации планируемого облучения, когда пуск и эксплуатация источников излучения были заранее спланированы. - Ситуации аварийного облучения, когда облучение носит непредвиденный характер, например, когда непредвиденное облучение происходит при плановой работе или в результате злонамеренных действий, требующих немедленного реагирования. – Ситуации существующего облучения, когда облучение уже происходит ко времени принятия решения об установлении над ним контроля, например, когда происходит облучение, обусловленное естественным фоном» (цитируется по [33]).

⁷ Основной предел дозы для населения при нормальной эксплуатации источников излучения равен 1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год (НРБ-99/2009) (цитируется по [57]).

мышленных отходов, использовать при строительстве сооружений и дорог. Разница между РАО и не РАО определена в российском законодательстве следующим образом:

К радиоактивным отходам (РАО) относятся «не подлежащие дальнейшему использованию материалы и вещества, а также оборудование и изделия (в том числе отработавшие источники ионизирующего излучения), содержание радионуклидов в которых превышает критерии, установленные Правительством Российской Федерации» [33]. Действующие критерии отнесения к РАО утверждены Правительством в 2012 году в Постановлении №1069⁸ [40]. Критерии для промышленных отходов, образовавшихся в результате использования атомной энергии, отличны от критериев для отходов, образовавшихся при добыче и переработке минерального и органического сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов. Последние также могут признаваться РАО, во-первых, если они не подлежат дальнейшему использованию [41], во-вторых, если взятые с определенными весовыми коэффициентами удельные активности радия-226, тория-232 и калия-40 в сумме превышают 10 Бк/г⁹ [40].

Если суммарная активность ниже 10 Бк/г, загрязненные природными радионуклидами материалы могут относиться к I или II категории промышленных отходов. Обращение с отходами I категории по радиационному фактору осуществляется без ограничений. Обращение с отходами II категории проводится с учетом планируемого характера их дальнейшего использования и соблюдения дозовых пределов облучения работников и населения. В этом случае производитель работ должен получить у надзорных органов специальное санитарно-эпидемиологическое заключение. Обращение с отходами III категории производится в соответствии с требованиями по обращению с низкоактивными радиоактивными отходами (ОНАО).

Для лучшего понимания представленных в разделе 2 результатов обратим внимание на то, что при обращении с производственными отходами с повышенным содержанием природных радионуклидов российский Минздрав рекомендует *выявлять и предварительно* оценивать их категорию по мощности дозы гамма-излучения на поверхности отходов, а *сортировку и категорирование* проводить по результатам гамма-спектрометрического анализа (табл.2).

Таблица 2. Категории производственных отходов, содержащих природные радионуклиды, по данным [42]

Категория отходов	Эффективная удельная активность природных радионуклидов $A_{эфф}$, кБк/кг	Мощность дозы гамма-излучения природных радионуклидов в отходах* (P)	
		мкР/час	мкЗв/час ¹⁰
I категория	$A_{эфф} \leq 1,5$	$P \leq 70$	$P \leq 0,7$
II категория	$1,5 \leq A_{эфф} \leq 10$	$70 < P \leq 450$	$0,7 < P \leq 4,5$
III категория	$A_{эфф} > 10$	$P > 450$	$P > 4,5$

Примечание: * - мощность дозы гамма-излучения P измеряется на расстоянии 0,1 м от поверхности отходов в соответствии с утвержденными в установленном порядке методиками контроля. Расчетные значения P соответствуют верхним граничным значениям $A_{эфф}$ для отходов разной категории.

Гигиенические требования по обращению с производственными отходами предприятий определены Минздравом следующим образом: средняя годовая эффективная доза облучения критической¹¹ группы населения не должна превышать 100 мкЗв/год [42]. Отметим, что это значение в *10 раз меньше* основного предела дозы для населения (1 мЗв/год). На фоне облучения от природного фона и медицинских источников такая добавка совершенно незначима для организма человека. В таблице 3 для сравнения при-

⁸ «Твердые, жидкие и газообразные отходы, содержащие радионуклиды, за исключением отходов, образующихся при осуществлении не связанных с использованием атомной энергии видов деятельности по добыче и переработке минерального и органического сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов, относятся к радиоактивным отходам в случае, если сумма отношений удельных (для твердых и жидких отходов) или объемных (для газообразных отходов) активностей радионуклидов в отходах к их предельным значениям согласно приложению превышает 1» (цитируется по [40]).

⁹ «Твердые отходы, образующиеся при осуществлении не связанных с использованием атомной энергии видов деятельности по добыче и переработке минерального и органического сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов, относятся к радиоактивным отходам в случае, если выполняется следующее условие: $A_{Ra} + 1,3 A_{Th} + 0,09 A_K > 10$ Бк/г, где A_{Ra} , A_{Th} , A_K – выраженные в Бк/кг удельные активности радия-226, находящегося в равновесии с радионуклидами уранового ряда, тория-232, находящегося в равновесии с радионуклидами ториевого ряда, и калия-40» (цитируется по [40]).

¹⁰ 100 мкР/час = 1 мкЗв/час, если рассматривается биологическое действие излучения.

¹¹ «Группа лиц из населения (не менее 10 человек), однородная по одному или нескольким признакам - полу, возрасту, социальным или профессиональным условиям, месту проживания, рациону питания, которая подвергается наибольшему радиационному воздействию по данному пути облучения от данного источника излучения» (цитируется по [43]).

водятся данные НКДАР ООН по среднегодовым дозам облучения населения от природных и медицинских источников и диапазоны их вариаций по миру.

Таблица 3. Средние годовые дозы и диапазон изменения индивидуальных доз ионизирующего излучения для разных источников, мЗв, по данным НКДАР ООН, 2008 год [44]

Источник или режим	Средняя годовая доза по миру	Типичный диапазон изменения	Комментарий
<i>Все естественные источники, в том числе:</i>	2,4	1-13	<i>Значительные группы населения получают 10-20 мЗв</i>
Вдыхание (газ радон)	1,6	0,2–10	Доза намного выше при проживании в некоторых зданиях
Внешнее облучение от наземных источников (почвы и др.)	0,48	0,3 – 1	
Попадание радиоактивных веществ при приеме пищи и воды	0,29	0,2 – 1	
Космическая радиация	0,39	0,3 – 1	Доза увеличивается с высотой
<i>Медицинская диагностика (не лучевая терапия)</i>	0,6	<i>От 0 до нескольких десятков</i>	<i>Дозы зависят от конкретных видов обследования</i>

Таким образом, выполнение гигиенических требований при обращении с отходами производства с повышенным содержанием природных радионуклидов гарантирует радиационную безопасность населения с большим запасом.

Однако, как уже говорилось, с этим согласны не все. Когда речь идет о радиации, население и местные власти обычно стремятся снизить даже пренебрежимо малые риски до нуля. Зачастую они требуют полного изъятия, вывоза и захоронения не только РАО, но и материалов, разрешенных Минздравом к дальнейшему использованию. По оценкам технических специалистов получаемый при этом выигрыш в снижении доз облучения населения совершенно незначим с точки зрения радиационной безопасности, но стоимость работ по реабилитации увеличивается многократно. В этом случае вряд ли можно говорить об оптимизации защиты, предполагающей, как уже говорилось, тщательную балансировку вреда от облучения и ресурсов для защиты облучаемых индивидуумов. Принцип оптимизации оказывается не востребовавшимся, и пренебрежимо малые радиационные риски вытесняют из общественного сознания и бюджета другие, зачастую более существенные риски нерадиационной природы.

Завершая краткий обзор международно-признанных подходов к радиационной защите, отметим, что в России в целом, и в Москве в частности радиационная безопасность населения обеспечивается на приемлемом по международным стандартам уровне. В число актуальных задач входит поддержание достигнутого уровня и практическая оптимизация мер радиационной защиты при дальнейшем снижении радиационных рисков.

2 Участки загрязнения в районе строительства Юго-Восточной хорды

2.1 История вопроса

Бесспорно, источником радиоактивного загрязнения территории, отведенной под строительство хорды, является прошлая деятельность Московского завода полиметаллов. До МЗП на этом месте (рис. 5) с 1876 года работал кирпичный завод, после 1914 года – Царицынский химический завод.

Датой основания Московского завода полиметаллов считается октябрь 1932 года, когда было принято решение о создании нового предприятия по производству металлического бериллия. Продукция МЗП имела ярко выраженное оборонное значение. Сначала завод выпускал пиротехнические смеси, особо прочные металлы для авиационной промышленности и др. В предвоенные годы в цехах разрабатывались и внедрялись технологии производства редких и редкоземельных минералов и их соединений, таких как бериллий, металлическая сурьма, реактивные соли молибдена, кобальта, висмута и др.¹² [45]. В годы войны особую важность имел выпуск металлического кобальта для создания особо прочных сплавов для танковой брони и бронебойных снарядов.

В послевоенные годы на МЗП проводились работы с рудами полиметаллов, содержащими природные радионуклиды уран-ториевого ряда и продуктов их деления. Ряд принятых и реализованных в тот период

¹² Все указанные химические вещества представляют опасность для здоровья в случае их значимого поступления в организм человека.

решений по обращению с отходами производства сегодня могут быть определены как небезопасные. Среди них – организация шламоотстойника в непосредственной близости к Москве-реке и складирование промышленных отходов, содержащих природные радионуклиды уран–ториевого ряда, в непосредственной близости от берегового склона.

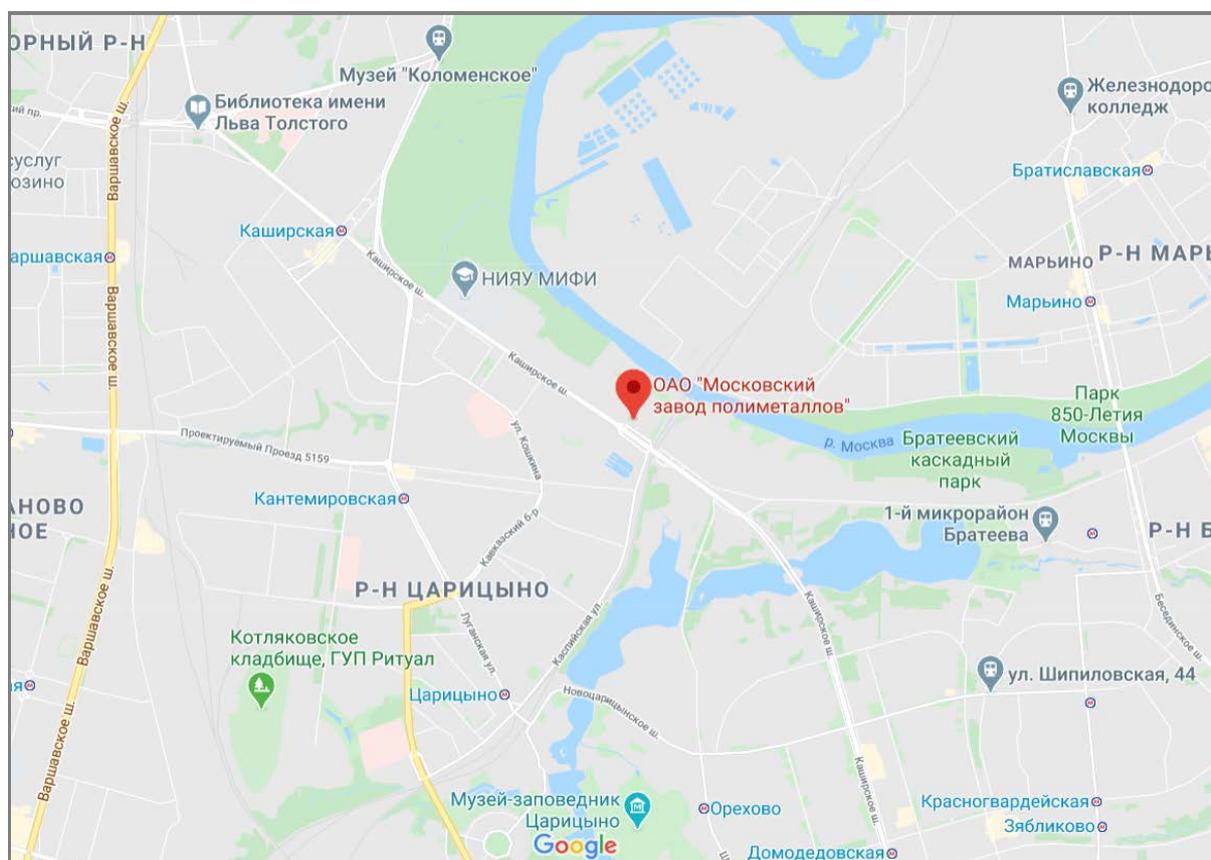


Рисунок 5 – Московский завод полиметаллов на карте Москвы

В 1970/80-е годы МЗП стал постепенно сворачивать переработку руд и переходить на производство новых видов продукции. Вокруг предприятия поднимались жилые кварталы. В начале 1990-х годов предприятие передало городу неиспользуемую часть своей территории на склоне Москвы-реки, где часть оврагов была засыпана отвалами остатков полиметаллических руд, содержащих природные радионуклиды, и отходами гидрометаллургического производства.

В 1999 году в связи с принятием новых норм радиационной безопасности (НРБ-99) на МЗП было проведено радиационно-экологическое обследование 32 зданий и территории общей площадью около 165 тыс. м². На склоне реки специалисты «Радона» нашли более 400 очагов (участков) радиоактивного загрязнения, возникших в результате засыпки промышленных отходов, содержащих природные радиоактивные вещества, в овраги и иные неровности рельефа. Общая площадь загрязнения была оценена как ~5 га, общий объем загрязненных материалов от 60 000 до 100 000 тонн [26]. Полное изъятие загрязненных грунтов было признано нецелесообразным из-за опасности образования оползней при проведении работ и возможности попадания загрязненных материалов в реку. Окончательное решение проблемы специалисты рекомендовали увязать с планами дальнейшего использования территории.

По итогам этих обследований были проведены дезактивация и реабилитация промышленной площадки. Силами МосНПО «Радон» дезактивированы 17 корпусов МЗП, а также очищены загрязненные участки территории предприятия. Образовавшиеся РАО объемом около 425 куб. м³ вывезены на полигоны «Радона». По итогам работ радиационно-гигиеническое состояние зданий, сооружений и поверхности территории (на глубине до 1 м) полностью соответствует новым нормам.

На принадлежащей городу территории специалисты «Радона» проводили ежегодные радиационные обследования и дезактивацию выявленных локальных очагов загрязнения вплоть до 2018 года. Ситуация была стабильной. За пределами обследуемой территории параметры радиационной обстановки соответствовали общегородским показателям, радиационный фон колебался в пределах 0,08–0,14 мкЗв/ч. На участках дорог вблизи Каширского шоссе и территории МЗП радиоактивного загрязнения не фиксирова-

лось. Содержание радионуклидов в воде и донных отложениях Москвы-реки на всем протяжении от музея-заповедника «Коломенское» до МКАД не превышало нормативных значений [46].

В 2010 году в проекте городской целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности города Москвы на 2011–2013 годы» московские власти констатировали, что «проводимые на склоне реки дезактивационные работы позволяют удерживать ситуацию под контролем. Для полной реабилитации территории требуется комплексное решение, включающее разработку противооползневых мероприятий с обязательным радиационным обследованием и дезактивацией выявляемых радиоактивных загрязнений. Проект противооползневых мероприятий должна выполнить специализированная организация с учетом дальнейшего использования данного участка» [15].

Однако в практическом плане вопрос об очистке загрязненной территории встал перед городскими властями только в связи с планами строительства участка новой Юго-Восточной хорды (рис.6). Хорда нужна, чтобы улучшить дорожную ситуацию в огромном секторе города с населением около 2,5 млн. человек. Реализация сложного и дорогостоящего проекта должна была начаться весной 2019 года. Однако на общественных слушаниях по проекту жители районов, по которым должна пройти хорда, высказались против. Основной акцент противники строительства делали опасности строительства рядом с границей МЗП. Протестующие выходили на митинги, собирали подписи, приглашали специализированные городские организации для подтверждения повышенных уровней радиационного фона.



Рисунок 6 – План-схема участка строительства моста через Москву-реку в районе платформы «Москворечье»

В августе 2019 года специальная комиссия Общественной палаты РФ признала общественные протесты против Юго-Восточной хорды «серьезным источником социального напряжения, чего не было при строительстве других хорд» [47]. Московская городская Дума провела круглый стол на тему «Юго-восточная хорда и Южная рокада: проблемы экологии и прав жителей при проектировании и строительстве автомагистралей в Москве». Депутаты потребовали у Правительства Москвы остановить строительство до выяснения всех обстоятельств. Застройщики подвинули проектируемый мост через реку в «чистую» полосу отвода железной дороги, но в январе 2020 года депутаты снова потребовали остановить строительство, полностью очистить склон от радиоактивных отходов и провести повторные публичные слушания [48].

В конце января 2020 года городские власти, опираясь на мнение специалистов, решили продолжать строительство, предварительно очистив узкий перешеек между платформой Москворечье и периметром МЗП от «незначительных следов загрязнения». Проблему очистки загрязнения на береговом склоне было решено рассматривать отдельно [49].

Но и после этого противники строительства хорды продолжали высказывать опасения, что намеченные на весну 2020 года работы на перешейке спровоцируют оползень, а «оголившиеся радиоактивные отходы» проникнут в воздух и воду, вдохнувшие радиоактивную пыль люди, особенно дети, могут заболеть раком [50,51,52].

В середине февраля 2020 года «Радон» заключил с Правительством Москвы контракт на оказание услуг по радиационному контролю, изъятию и транспортировке радиоактивных отходов в районе строительства Юго-Восточной хорды [53,54]. Площадь участка – 2,7 га, срок выполнения работ - 90 календарных дней. Объем извлекаемых РАО и загрязненных грунтов ~ 10 м³ и 450 м³ соответственно. Работы будут проводиться в три этапа [55].

1 этап подготовительный включает в себя:

- радиационное обследование территории со шпурением на глубину до 1 метра в местах превышения нормативных значений мощности дозы гамма-излучения (ОСПОРБ-99/2010),
- ограждение участков, установку системы видеонаблюдения в соответствии с проектной документацией, организацию санитарно-пропускного режима и круглосуточной охраны объекта, установку автоматического поста контроля радиационной обстановки, организацию подъездных путей к УРЗ, создание площадок изъятия РАО и радиоактивно загрязненного грунта (с вырубкой зеленых насаждений).

2 этап – это собственно реабилитация территории, то есть изъятие РАО и загрязненного грунта, их сортировку, размещение в сертифицированные контейнеры / упаковку, транспортировку спецсредствами на спецучастки, дозиметрический (радиационный) контроль сотрудников и техники, выезжающих с объекта.

3 этап – это заключительное радиационное обследование объекта с получением заключения о соответствии радиационной обстановки объекта требованиям действующих норм, установленных законодательством Российской Федерации и г. Москвы.

В конце февраля специалисты «Радона» приступили к работам, общественность потребовала организовать постоянный общественный контроль на стройплощадке. Активисты устроили круглосуточное дежурство рядом с местом строительства. По инициативе депутатов на базе городской Думы была создана рабочая группа, в состав которой вошли специалисты разных московских организаций, в том числе эксперт ИБРАЭ РАН. Жители и активисты получили статус наблюдателей.

18 марта строители начали устанавливать бытовки. Активисты пытались им помешать, вмешалась полиция. Противостояние продолжалось два дня, после чего на месте дежурства активистов строители поставили забор [56].

2.2 Анализ радиационного загрязнения в полосе отвода хорды в 2019 году

В 2019 году на участке предполагаемого строительства по инициативе общественных активистов проводились многочисленные замеры радиационного фона, в том числе с участием специалистов лицензированных организаций ФГУП «Радон» и ООО «ТехноТерра». В начале декабря 2019 года в ответ на обращение жителей свои замеры провели также специалисты ИБРАЭ РАН.

2.2.1 Данные из открытых источников

30 апреля 2019 года по вызову жителей специалисты «Радона» обследовали два наиболее значимых очага загрязнения площадью 1 м² и 5 м² на узком перешейке между границей МЗП и железной дорогой. При этом присутствовали представители Центра управления кризисными ситуациями ГУ МЧС России по г. Москве, Мосгордумы и общественной организации «Без РАО». Измерения проводились с помощью дозиметра-радиометра ДКС-96 (№Д1187) с блоками детектирования БДЗБ-99, БДЗА-96, БДПГ-96, дозиметра мощности экспозиционной дозы ДРГ-01Т101 (№2594), радиометра СРП-68-01 (№1286). В акте обследования указано, что в очаге загрязнения площадью ~5 м² (недалеко от здания №49/14 МЗП, точные координаты не указаны) максимальное значение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от грунта составило 61,4 мкЗв/ч. Максимальная плотность потока для альфа-частиц была меньше 0,1 част/(см²·мин.), для бета-частиц была равна 235 част/(см²·мин.) [57].

Осенью 2019 года российское отделение Greenpeace (далее *Гринпис*) заключило договор с лицензированной компанией ООО «ТехноТерра»¹³ (далее *ТТ*) на проведение радиационных исследований на том же участке между МЗП и железнодорожной станцией «Москворечье». Перед инженерами-экологами была поставлена задача определить (1) наличие радиоактивного загрязнения, представляющего риски для человека и окружающей среды, и (2) наличие радиоактивных отходов. В присутствии журналистов и местных активистов специалисты ТТ провели измерения гамма-фона и взяли пробы грунта. О результатах Гринпис сообщил на своем вебсайте [52], технический отчет по договору ИБРАЭ получил от представителей общественности.

¹³ Официальный сайт ООО «ТехноТерра» <https://tterra.ru>

В этой работе использовались радиометр СРП-68-01 (№1296), дозиметры МКС-АТ6130 (№16895), МКС-АТ6101Д (№10173), МКС-1117А (№6204), спектрометр-радиометр МКГБ-01 «РАДЭК» гамма и бета-излучений (№288). Приборы прошли все необходимые поверки. В очагах загрязнения (5 точек) мощность дозы на высоте 1 м над землей была в диапазоне 0,14 – 0,32 мкЗв/ч. Максимальное значение на высоте 0,1 м составило 1,15 мкЗв/ч, на глубине 0,5 м – 1,62 мкЗв/ч (относительная погрешность < 20%). Основными дозообразующими радионуклидами в разных пробах грунта были ^{232}Th и ^{226}Ra и продукты их распада. Максимальная удельная активность в исследованных пробах грунта в точке с координатами (55°,38'25,76"N; 37°41'16.17"E) составила 6,5 Бк/кг (относительная погрешность < 40%). Сравнив это значение с нормативными уровнями (для строительных материалов - 4 Бк/кг по НРБ-99/2009), специалисты ТТ пришли к выводу, что данный почвогрунт не может использоваться в строительстве. По содержанию ^{232}Th данная проба была отнесена к классу твердых радиоактивных отходов. Схема участка работ и фрагмент протокола с результатами измерений ТТ показаны на рисунках 7, 8 [52].



Рисунок 7 – Обзорная схема участка работ ООО «ТехноТерра»

7. Отбор проб: проба отобрана и доставлена сотрудником ОПИАР.

8. Объект испытания: пробы почвогрунтов (глубина 0,0-0,2 м).

9. Техническое задание: измерение удельной активности Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137 и эффективной удельной активности.

10. Измерения проводились в соответствии: методика измерений удельной активности природных радионуклидов, цезия-137, стронция-90 в пробах объектов окружающей среды и продукции предприятий с применением спектрометра-радиометра гамма и бета - излучений МКГБ-01 "РАДЭК" и гамма-спектрометра МКСП-01 "РАДЭК".

11. Результаты измерения:

Геометрия измерения: Сосуд Маринелли объемом 1 л.

Время экспозиции: 60 минут.

№ п/п	№ пробы	Масса пробы, г	Удельная активность, Бк/кг				A _{эфф} , Бк/кг*
			^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	
1.	1рн-187	1262,1	32±10	5014±490	119±36	14,2±2,4	6560±655
2.	2рн-187	1379,1	1692±160	35±13	69±12	7,7±1,5	1740±160
3.	3рн-187	1281,4	42±8	330±33	190±36	9,8±2,8	490±40
4.	4рн-187	1256,8	<12	577±55	465±79	17±8	804±67
5.	5рн-187	1272,2	34±10	494±150	420±65	12±5	721±83
6.	6рн-187	1209,5	20±3	35±4	478±45	<5	110±14

Примечание: погрешность указана для P=0,95

Рисунок 8 – Фрагмент протокола измерений ООО «ТехноТерра» от 16.10.2019

2.2.2 Результаты собственных обследований

26 декабря 2019 года на том же участке мобильной группой радиационной разведки Центра научно-технической поддержки ИБРАЭ РАН в инициативном порядке был произведен отбор приповерхностных проб грунта и произведены замеры параметров радиационной обстановки (рис.9). Измерения проводились в присутствии трех местных активистов.



Рисунок 9 – Специалисты ИБРАЭ РАН проводят отбор проб грунта в точке наиболее значимой радиационной аномалии 26.12.2019

Измерения мощности дозы гамма-излучения и плотности потока бета-частиц на поверхности грунта производились с помощью дозиметра-радиометра ДКС-96С (№Д972) с блоками детектирования БДВГ-96 (№Д208) и БДКС-96с (№Д430), а также с помощью переносного спектрометра МКС-АТ6101С (№32791-14) с блоком детектирования БДКГ-11 (№10425), который использовался также для предварительного спектрометрического анализа грунта на месте.

По результатам поискового обследования были выявлены основные зоны радиационных аномалий, в границах которых планировалось произвести отбор проб поверхностного грунта и бурение скважин в целях исследования распределения активности радионуклидов по глубине. Поиск аномалий производился с учетом данных «Радона» и ТТ. Предварительная спектрометрическая разведка в местах выявленных аномалий проводилась путем измерения спектров гамма-излучения на уровне почвы за период 300-600 секунд, по результатам оперативно оценивалось наличие повышенного содержания радионуклидов ^{232}Th или ^{226}Ra .

Измерения мощности дозы гамма-излучения производились на высоте 1 м над поверхностью, а также на высоте 0,1 м в точках отбора проб. Погрешность измерений не превышала 30%. Плотность потока бета-частиц измерялась в точках отбора проб грунта на расстоянии не более 1 см от поверхности грунта с точностью не менее 50%.

Отбор проб производился путем вдавливания в открытый грунт цилиндрического пробоотборника и изъятия неповрежденного слоя толщиной 6 см. Выбор участков пробоотбора проводился в пределах двух выявленных при поисковом обследовании аномалий (точки №1 и №2 на рис. 10). Пробы отбирались на участках с ненарушенным составом. Точка №1 выбрана на участке наиболее значимой радиационной аномалии с размерами 10x10 м, где измеренные на высоте 1 м значения мощности дозы находились в диапазоне 0,20-0,32 мкЗв/час. Уровень мощности дозы на участке вблизи точки 2 был ниже, площадь пятна загрязнения не превышала 10 м². Данные по отобраным пробам приведены в таблице 4.



Рисунок 10 – Точки отбора проб грунта группой ИБРАЭ РАН 26.12.2019

Таблица 4. Параметры приповерхностных проб грунта, отобранных мобильной группой ИБРАЭ РАН 26.12.2019

Номер пробы (точки отбора)	1	2
Координаты точки отбора, град.:		
широта	55,640425	55,641231
долгота	37,687841	37,688662
Высота пробы, см	6	
Диаметр пробы, см	14	
Масса, г	1167	904
Плотность пробы, г/см ³	1,264	0,979
МЭД гамма-излучения, мкЗв/ч		
на высоте 0,1 м	0,37	0,14
на высоте 1,0 м	0,24	0,15
Плотность потока бета-излучения у поверхности, част./(см ² ×мин)	2,5±1	<1

В ИБРАЭ РАН в лабораторных условиях был произведен спектрометрический анализ отобранных проб и определены удельные активности радионуклидов. Материал пробы перед измерением не высушивался и не гомогенизировался. Для каждой пробы производилось два спектрометрических измерения вплотную к блоку детектирования – с одной и с другой стороны цилиндрической пробы. Оценка активности производилась в предположении равномерного распределения радионуклидов по массе пробы. Результаты спектрометрического анализа приведены в таблице 5 и на рисунках 11, 12.

Таблица 5. Результаты оценки удельной активности радионуклидов в пробах грунта

Номер пробы	Удельная активность радионуклида в пробе, Бк/кг			Эфф. удельная активность, А _{эфф.} Бк/кг
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	
1	150±30	64±20	370±90	270
2	<5	64±23	390±80	120

Измерения спектра излучения пробы проводилось за свинцовой защитой для снижения вклада в показания природных радиоизотопов, содержащихся в конструкционных материалах лаборатории. Дополнительно был измерен аппаратурный спектр, соответствующих фону в свинцовой защите, который предварительно вычитался из аппаратурных спектров проб в процессе их анализа. Результаты спектрометрического анализа также показаны на рисунках 11,12.



Рисунок 11 – Аппаратурные спектры гамма-излучения проб грунта в точке №1

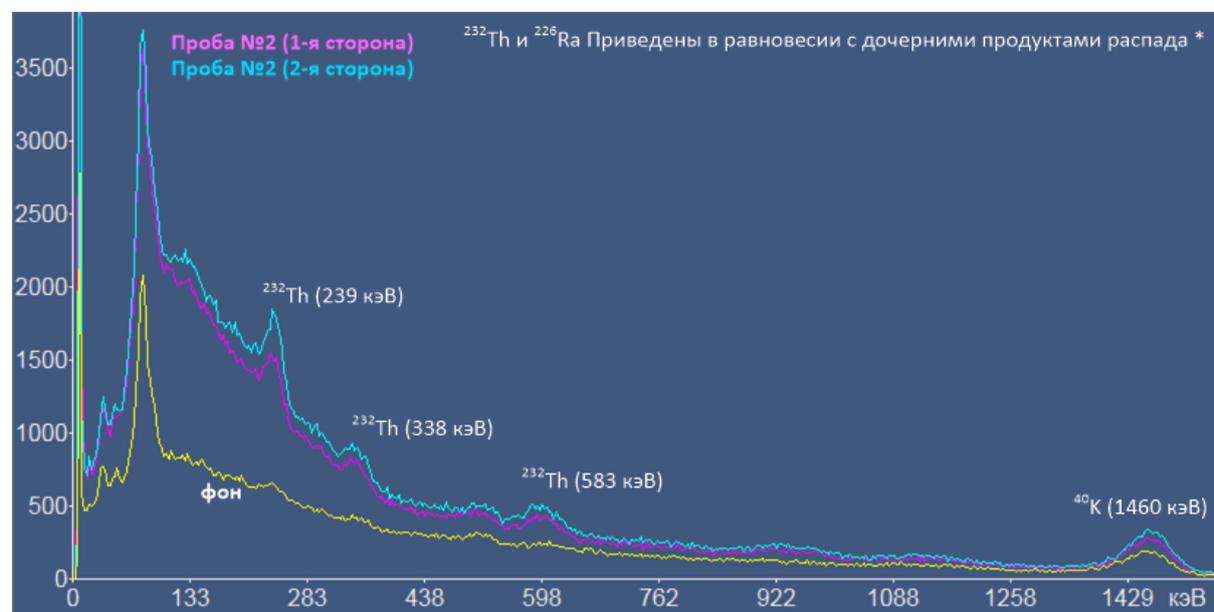


Рисунок 12 – Аппаратурные спектры гамма-излучения проб грунта в точке №2

2.2.3 Общая оценка данных по радиоактивному загрязнению

Насколько согласуются между собой данные разных организаций? Люди без профильного образования, вероятнее всего, скажут, что «Радон» и ИБРАЭ занижают опасность, тогда как по результатам независимой компании ТТ и измерениям, снятым «Радоном» в присутствии общественных экологов, ситуа-

ция гораздо серьезнее. Профессионалы ответят, что все приведенные результаты показывают примерно одну и ту же картину. Поясним это на примерах.

1) В пробах грунта, взятых ТТ, выявлено содержание ^{137}Cs , а в пробах ИБРАЭ техногенного цезия не было.

С учетом условий проведения измерений специалисты ИБРАЭ считают, что содержание ^{137}Cs в отобранных ими пробах было ниже предела обнаружения (10 Бк/кг). Измеренные ТТ удельные активности ^{137}Cs в пробах грунта соотносятся со средними уровнями загрязнения ^{137}Cs от глобальных выпадений в результате ядерных испытаний и, вероятней всего, не имеют отношения к деятельности Московского завода полиметаллов. Источником выпадений ^{137}Cs могут быть также штатные выбросы ядерно-энергетических установок, которые находились и продолжают находиться в настоящее время в эксплуатации в Москве. В любом случае выпадения за счет указанных источников не могут создать локальной аномалии, и присутствие ^{137}Cs в пробах на уровне фоновых значений не приведет к каким-либо корректировкам в оценках доз облучения населения, полученным на основе проведенных исследований (см. далее).

2) Максимальные значения гамма-фона, зафиксированные разными организациями примерно в одном и том же месте, но в разное время, отличаются в разы и даже десятки раз. Такие расхождения заведомо превышают уровень погрешности измерительных приборов. Опытные специалисты знают, что такие различия могут объясняться сложным пятнистым характером загрязнения. Одноразовые блец-обследования не позволяют детально изучить обнаруженные аномалии, и максимальные значения гамма-фона фиксируются в разных точках.

Пятна загрязнения на участке строительства хорды, как уже говорилось, появились вследствие засыпки промышленных отходов уранового производства в овраги, углубления и неровности рельефа. Под влиянием оползневых и эрозионных процессов рельеф обращенного к железной дороге склона постепенно менялся, фрагменты отвальной породы разных форм и размеров перераспределялись по глубине и площади склона. Кроме того, на обследованной территории в большом количестве встречаются следы отбора проб грунта, производимого ранее другими исследователями, в том числе, следы выброса грунта из скважин на поверхность. С учетом того, что удельная активность грунта, как было установлено, на глубине до 1 метра в несколько раз выше, чем на поверхности, можно утверждать, что имеет место искусственное создание локальных неоднородностей. Именно наличием скважин и следов выброса грунта на поверхность можно объяснить расхождения показаний измерений различных измерительных групп, работавших практически в одних и тех же локациях.

Сравним, например, результаты измерений ИБРАЭ и ТТ в пределах наиболее загрязненного пятна (см. таблицу 6). С учетом погрешностей измерения ($\geq 30\%$) расхождения между максимальными значениями на высоте 1 м оказываются статистически незначимыми. При этом оба значения существенно ниже контрольного уровня 0,6 мкЗв/ч, установленного для участков строительства производственных зданий и сооружений [58]. В то же время измеренные на высоте 0,1 м показания заметно выше и статистически значимо отличаются друг от друга. Это расхождение можно легко объяснить наличием искусственно созданных неоднородностей.

Таблица 6. Мощности дозы на разной высоте в точке пробоотбора и эффективные удельные активности образцов почвы, зафиксированные двумя организациями в пределах одного загрязненного пятна (точка №2 на рис. 7 и точка №1 на рис. 10)

Организация	H=1 m	H=0,1 m	$A_{\text{эфф.}}$, кБк/кг
ТехноТерра	0,32 мкЗв/ч	1,15 мкЗв/ч	1,74
ИБРАЭ РАН	0,24 мкЗв/ч	0,37 мкЗв/ч	0,3

3) Удельные активности проб почвы, измеренные ТТ и ИБРАЭ, отличались на порядок. Значение в пробе ТТ превысило норматив для используемых в строительстве материалов 4,0 кБк/кг, но с учетом погрешностей измерений и модельных расчетов ($\geq 50\%$) это превышение не является статистически значимым. Активность пробы ИБРАЭ оказалась значимо ниже норматива для материалов, используемых в дорожном строительстве в пределах населенных пунктов – 0,74 кБк/кг [59].

Поскольку в отчете ТТ не указаны все нюансы процедур отбора проб, измерения и обработки материалов, расхождение может быть связано с несколькими причинами. Например, отбор пробы группа ИБРАЭ проводила на участке с ненарушенным почвенным покровом в точке с характерным для радиационной аномалии значением мощности дозы на высоте 1 м – 0,24 мкЗв/ч. Если специалисты ТТ взяли пробу грунта на участке с нарушенным почвенным слоем, в нее могли попасть более загрязненные грунты, выброшенные ранее из пробуренной скважины. Это могло стать причиной более высоких оценок, поскольку по измерениям ИБРАЭ на глубине до 1 метра удельная активность грунта увеличивается с глубиной, а потом снова уменьшается (рисунок 17).

Определенную роль могла сыграть разница в подходах к спектрометрическим исследованиям. Специалисты ТТ проводили измерения спектров в геометрии сосуда Маринелли объемом 1 л при времени экспозиции 60 мин. Для восстановления удельной активности ^{226}Ra и ^{232}Th в пробах использовали другие коэффициенты. Методика ИБРАЭ была иной. Удельная активность ^{226}Ra и ^{232}Th в пробах восстанавливалась по гамма-линиям дочерних продуктов (^{210}Pb не использовался). Предполагалось, что ^{226}Ra и ^{232}Th находятся в равновесии с дочерними продуктами распада. С учетом возможного времени формирования загрязнения, такое допущение правомерно. Выход ^{222}Rn из почвы, особенно если загрязнение носит глубинный характер, не может значимым образом изменить равновесные соотношения между ^{226}Ra и дочерними продуктами ^{214}Pb и ^{214}Bi . Влиянием эманации ^{220}Rn на равновесные соотношения в цепи распада ^{232}Th также можно пренебречь. Расчет эффективности регистрации спектрометрической установки в зависимости от энергии гамма-квантов для заданной геометрии измерения проб и используемого детектора (кристалл NaI 63x63 мм) проводился методом Монте-Карло.

Эта разница могла бы объяснить расхождение в результатах измерений ИБРАЭ и ТТ, но не порядок. Можно также предположить, что инженеры-экологи ТТ отобрали пробу Т2, действительно, в точке локальной аномалии, но измеренные значения удельной активности ^{226}Ra и ^{232}Th оказались нехарактерными для данного пятна загрязнения.

Для обоснования собственных оценок в ИБРАЭ были проведены расчеты мощности дозы на высоте 1 м от цилиндрического поглощающего источника высотой 1 м с равномерным распределением активности по объему и с удельной активностью, полученной в пробах ИБРАЭ и ТТ. Расчеты проводились с учетом вкладов дочерних продуктов ^{226}Ra и ^{232}Th , находящихся в равновесном состоянии. Геометрия расчета приведена на рисунке 13.

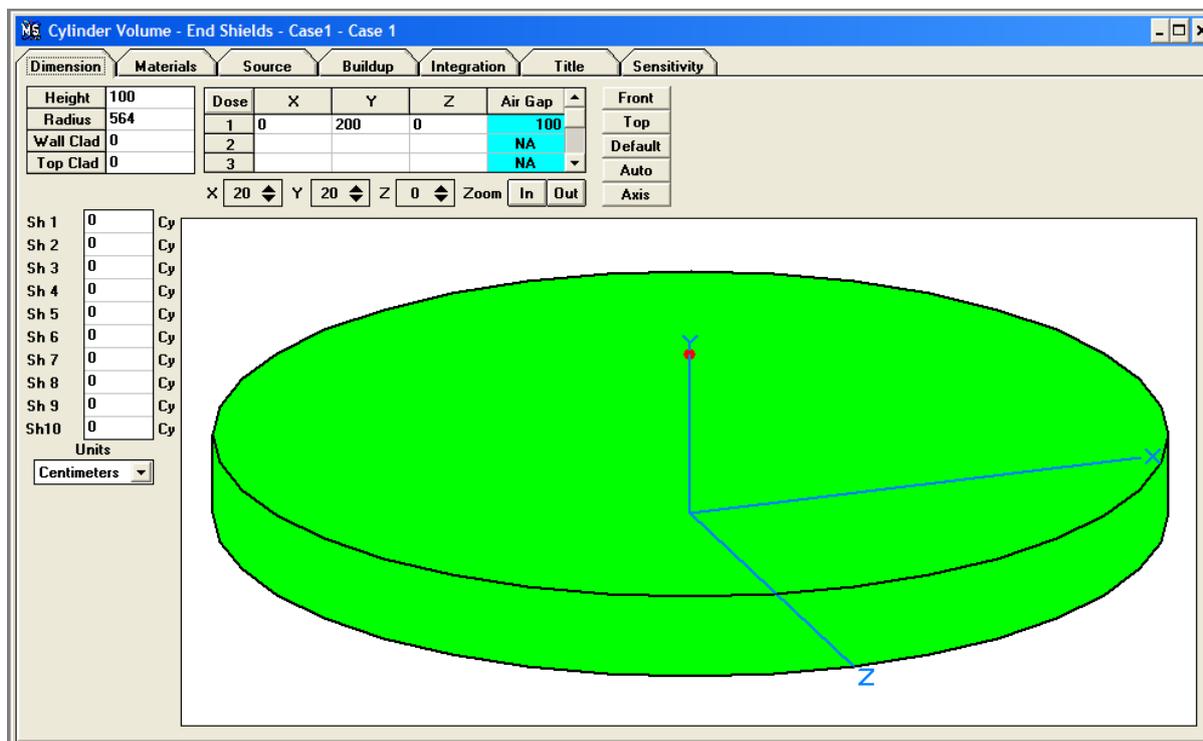


Рисунок 13 – Геометрия расчета мощности дозы на высоте 1 м от загрязненного грунта

Расчетная мощность дозы на высоте 1 м от техногенного источника, сформированного на основе пробы ИБРАЭ, составила 0,18 мкЗв/ч. С учетом естественного радиационного фона это дает 0,28 мкЗв/ч (измеренное фактическое значение 0,24 мкЗв/ч). Расчетная мощность дозы на высоте 1 м от источника, сформированного на основе пробы ТТ, дает 0,7 мкЗв/ч. С учетом фона значение может достигать 0,8 мкЗв/ч. Таких мощностей доз на высоте 1 м в районе данной радиационной аномалии зафиксировано не было. Максимальные значения мощности дозы на высоте 1 м, измеренные в данной локации специалистами ИБРАЭ и ТТ, совпали и составили 0,32 мкЗв/ч, что подтверждает корректность средних значений загрязнения грунта, полученных ИБРАЭ РАН.

4) Инженеры-экологи ТТ пришли к выводу, что на исследуемой площадке есть радиоактивные отходы (РАО). Вывод был сделан по пробе, взятой в одной из 25 точек, где экспозиционная доза была макси-

мальной. Эта точка выбиралась с помощью поискового прибора СРП-68-01. Отметим, что прибор СРП-68-01 откалиброван таким образом, что показывает только относительные значения экспозиционной мощности дозы, которые не следует отождествлять с абсолютными значениями, измеряемыми с помощью, например, ионизационной камеры. Относительный характер показаний прибора СРП-68-01 отражают и приведенные в отчете ТТ результаты сравнения измерений двумя приборами, один из которых измерял мощность амбиентного эквивалента дозы (рис. 14). Измерения мощности амбиентного эквивалента дозы¹⁴ позволяют с помощью простых соотношений перейти к нормируемой (но не измеряемой) величине эффективной дозы, в то время как измерения прибором СРП-68-01 к оценке нормируемой величины отношения не имеют. Для того, чтобы от измерений СРП-68-01 перейти к эффективной дозе требуются специальные исследования.

№ п/п	Место измерений	МАД, мкЗв/ч (h=1 м)			Показания поискового радиометра, мкР/ч	
		от	до	Кол-во измерений	от	до
1	Задернованный грунт	0,14	0,20	10	14	30
2	Открытый грунт	0,18	0,29	10	18	80
Аномальный участок (* расположение очагов указано в приложениях к протоколу)						
3.	Открытый грунт	0,28	0,32	5	80	200

Всего измерений МАД: 25

Примечание: обследование выполнено при непрерывном прослушивании скорости счета импульсов в головной телефон поискового радиометра. Масштаб поисков 1:100, 1:250.

Рисунок 14 – Фрагмент протокола ООО «ТехноТерра» [52])

Отметим еще один нюанс. В точке с максимально зарегистрированной мощностью дозы, как можно понять, инженеры-экологи отбирали пробу с глубины 0,5 м. Что касается остальных пяти проб почвы, глубина их отбора неизвестна. В двух пробах содержание естественных радионуклидов ²²⁶Ra и ²³²Th заметно отличалось от фоновых значений, причем в одной пробе концентрация ²³²Th превышала в несколько раз предельное значение удельной активности для этого радионуклида, установленное Постановлением правительства № 1069 [40]. На этом основании можно считать, что данная проба относится к твердым РАО. Однако этого факта недостаточно, чтобы признать весь объем грунта на обследуемой территории твердыми радиоактивными отходами.

Еще в недалеком прошлом в санитарных правилах, утвержденных Главным Государственным санитарным врачом СССР в 1991 г., были определены критерии по ограничению облучения населения от природных источников ионизирующего излучения [60]. Эти критерии были несколько жестче ныне действующих, но документ содержал один важный для практических целей пункт: «При $A_{эфф.} > 1350$ Бк/кг использование материалов для целей, перечисленных в п.2.1, запрещается. ... Приведенные значения $A_{эфф.}$ необходимо рассматривать как усредненные из нескольких (не менее 5) образцов строительных материалов, получаемых от конкретного поставщика». Из этого следует, что для изучения возможности использования материала для строительных работ надо было исследовать не менее 5 образцов и сравнивать с критериями среднее значение от всех измерений. Отнесение к твердым РАО – более серьезная и дорогая процедура, чем решение вопроса о том, в какой мере можно использовать материал, содержащий естественные радиоактивные вещества. Тем не менее, сотрудники ТТ по результатам только одной пробы делают заключение, что радиоактивные отходы найдены, не уточняя при этом объем таких РАО.

Процитируем еще один вывод из отчета ТТ: «Согласно СП 2.9.1.2612-10 (ОСПОРБ-99/2010), пункт 3.11.2, в двух исследованных образцах измеренные значения *превышают допустимую* норму для альфа-излучающих радионуклидов (1 альфа-част/см²·мин) – пробы 1-187 и 5-187. В 2 исследованных образцах измеренные значения *превышают допустимую* норму для бета-излучающих радионуклидов (10 бета-част/см²·мин) – пробы 1-187 и 2-187».

Это тоже не совсем верно. Во-первых, ошибочные ссылки на нормативные документы ведут к ошибочным заключениям. В ОСПОРБ-99/2010 пункт 3.11.2 звучит следующим образом: «3.11.2. Не допускается наличие нефиксированного (снимаемого) радиоактивного загрязнения поверхности материалов и

¹⁴ Эквивалент амбиентной дозы – операционная дозиметрическая величина, результаты измерения которой принимаются в качестве разумно консервативной оценки соответствующих нормируемых величин.

изделий, поступающих для использования в хозяйственной деятельности» [61]. В этом пункте никаких критериев не приводится, а приведенные критерии взяты из таблицы 8.10 СанПин 2.6.1.2523-09 (НРБ-99/2009) [21]. Во-вторых, таблица 8.10 имеет название. Допустимые уровни снимаемого радиоактивного загрязнения поверхности транспортных средств, используемых для перевозки радиоактивных веществ и материалов. В рассматриваемом ТТ случае эти критерии не применимы. В обоих документах речь идет не просто о загрязнении поверхности, а о *снятом* загрязнении, в то время как загрязненный грунт к такому определению явно не подходит.

5) Аномально высокое значение 61,4 мкЗв/ч в акте обследования «Радона» от 30.04.2019 может быть единичным выбросом. Такие выбросы, по многолетнему опыту специалистов-практиков, зачастую связаны с некорректной записью единиц измерения: прибор измеряет γ -фон в мкР/ч, а в протоколе указаны мкЗв/ч. Вероятность появления в протоколах других ошибок также нельзя исключать.

Вывод о непротиворечивости результатов обследований, проводившихся разными группами в разное время, подтверждают также обобщенные данные «Радона», представленные на встрече с общественными активистами в феврале 2020 года. По данным «Радона» санитарным нормативам не соответствует только 6% обследованной территории. Выявленные пять очагов загрязнения находятся примерно в тех же местах, которые отметили на карте активисты Гринпис (рис. 15). На пяти участках (аномалиях) на поверхности грунта зафиксированы 5-9 кратные отклонения мощности дозы гамма излучения от контрольного уровня 0,2 мкЗв/ч.

Номер аномалии и её месторасположение	№ УРЗ по каталогу	Площадь аномалии по околонуированию, кв.м/объем грунта с аномалией, куб.м		Максимальное значение МЭД ГИ на поверхности грунта, мкЗв/ч	Максимальное значение МД ГИ в скважине глубиной до 1 м, мкЗв/ч	Кол-во шпуров	Кол-во проб	Предполагаемый объем РЗГ (не более), куб.м	Предполагаемый объем РАО, куб.м
		общая	с превышением МЭД ГИ над КУ						
Аномалия 1 (≈26 м от ограждения АО «МЗП» и ≈22 м от строительного забора вдоль Каширского шоссе)	3166	535,5/ 535,5	225/225	1,06 (превышение КУ=0,2 мкЗв/ч в 5 раз)	2,54 (на глубине 0,4-0,5 м)	45	132	32,625 (7,25%)* 192,38 (42,75%)**	-
Аномалия 2 (≈12 м от ограждения АО «МЗП» и 110 м от строительного забора вдоль Каширского шоссе)	3165	2,25/ 2,25	2,25/2,25	1,79 (превышение КУ=0,2 мкЗв/ч в 9 раз)	0,85 (на глубине 0,2 м)	30	19	1,47 (65,3%)**	Ориентировочно 0,78 (34,7%)*
Аномалия 3 (≈1,5 м от ограждения АО «МЗП» и ≈200 м от строительного забора вдоль Каширского шоссе)	-	4,5/ 4,5	4,5/4,5	1,66 (превышение КУ=0,2 мкЗв/ч в 8,3 раза.)	2,52 (на глубине 0,2 м)	6	7	0,63 (14%)* 3,87 (86%)**	-
Аномалия 4 (≈15 м от ограждения АО «МЗП» и ≈130 м от строительного забора вдоль Каширского шоссе)	-	1,5/ 1,5	1,5/1,5	0,62 (превышение КУ=0,2 мкЗв/ч в 3 раза)	1,98 (на глубине 0,4-0,5 м)	6	3	1,5 (100%)**	-
Аномалия 5 (≈26 м от ограждения АО «МЗП» и ≈30 м от строительного забора вдоль Каширского шоссе)	-	535,5/ 535,5	225/225	1,06 (превышение КУ=0,2 мкЗв/ч в 5 раз)	2,54 (на глубине 0,4-0,5 м)	44	131	32,625 (7,25%)* 192,38 (42,75%)**	-
ИТОГО		1079,25	458,25			131	292	65,88* 392,37**	0,78***

Рисунок 15 – Итоговые результаты радиационных обследований территории, отведенной под строительство Юго-Восточной хорды, ФГУП «Радон»¹⁵

2.3 Дозы дополнительного облучения от участка радиоактивного загрязнения

Данные собственных измерений ИБРАЭ позволяют оценить дозы облучения населения для разных сценариев: (1) прекращение строительства автодороги и сохранение существующей ситуации; (2) проведение строительных работ без изъятия загрязненных материалов; (3) удаление загрязненных материалов.

¹⁵ Материал предоставлен представителями общественности района Москворечье-Сабурово.

Для этого сначала нужно определить основные параметры источника излучения, то есть запасы радиоактивных веществ и характеристики загрязненных грунтов.

2.3.1 Оценка запаса радиоактивных веществ

Оценка запаса радиоактивных веществ на территории вблизи юго-восточной границы МЗП проводилась по пробе грунта, отобранного в точке №1 (рис. 10). После пробоотбора в этом месте была пробурена скважина диаметром 16 см и глубиной 100 см и проведена серия измерений мощности дозы гамма-излучения по глубине. Для этого был использован дозиметр ДКС-96 с блоком детектирования БДПГ-96м (№Д327), укрепленный на направляющей и коллимированный сверху и снизу свинцовыми экранами толщиной 1 см в районе размещения кристалла сцинтиллятора. Результаты измерений приведены на рис. 16.

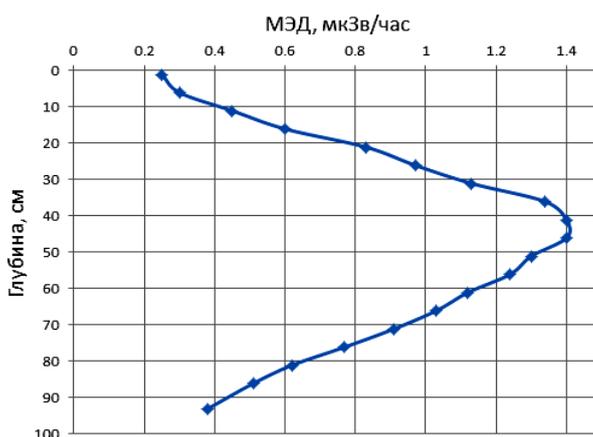


Рисунок 16 – Профиль мощности дозы в скважине по её глубине (точка №1), ИБРАЭ РАН

По этим данным рассчитывались мощности дозы на расстоянии 1 м от земли от распределенного в почве источника гамма-излучения радионуклидов ^{226}Ra и ^{232}Th . Предполагалось, что относительное распределение активности ^{226}Ra и ^{232}Th по глубине одинаково и соответствует распределению мощности дозы, представленному на рис. 16. Соотношение между активностями ^{226}Ra и ^{232}Th также принималось постоянным по глубине и равным их соотношению в пробе 1 (см. таблицу 5).

Источник гамма-излучения представлял собой почвенный цилиндр с площадью поверхности 100 м^2 и глубиной 100 см. Плотность почвы принималась равной $1,6\text{ г/см}^3$. Расчеты проводились с помощью инженерной методики оценки доз с использованием дозовых факторов накопления [62] путем численного интегрирования функции ослабления излучения точечного источника по пространству, занимаемому протяженным источником.

Используя данные прямых измерений мощности дозы на расстоянии 1 м, было показано, что запас активности ^{226}Ra и ^{232}Th в слое толщиной 100 см составляет ~ 63 и 27 Бк/см^2 соответственно. Распределения активности по глубине в абсолютных единицах представлены на рис. 17. Отметим, что графики на рисунках 16 и 17 вполне согласуются с предполагаемой историей формирования загрязнения.

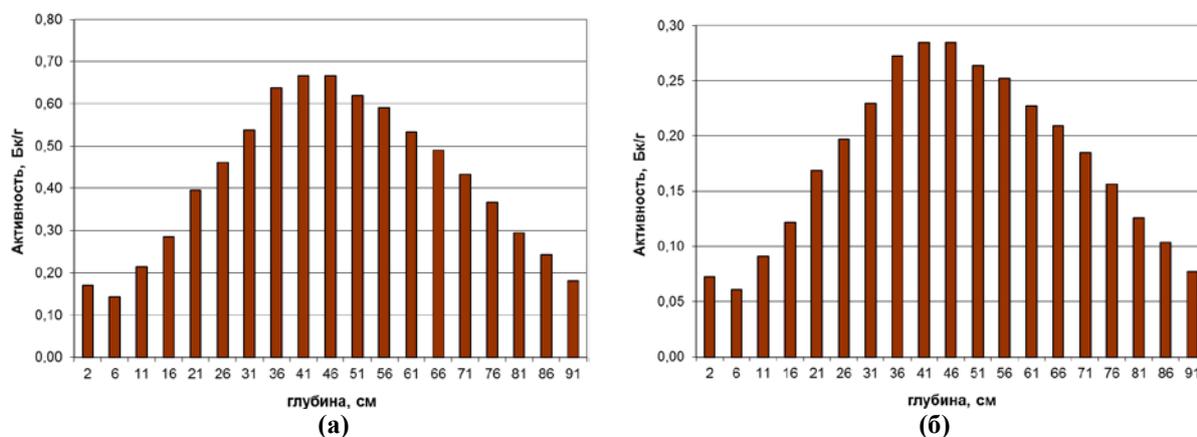


Рисунок 17– Распределение активности радионуклидов Ra-226 (а) и Th-232 (б) по глубине в абсолютных единицах

Оцененный запас активности на территории площадью 100 м² составил по радию –6,3·10⁷ Бк, по торию –2,7·10⁷ Бк. Средняя удельная активность радионуклидов в грунте с учетом глубинного профиля составила по радию 390 Бк/кг, по торию 170 Бк/кг. Эффективная удельная активность природных радионуклидов в слое грунта глубиной 100 см составила 640 Бк/кг. Согласно НРБ-99/200 данный образец грунта относится к промышленным отходам II категории, которые могут применяться в дорожном строительстве в пределах территории населенных пунктов (см. табл. 2 и раздел, посвященный проблемам оптимизации радиационной защиты в первой части препринта).

2.3.2 Оценка доз облучения населения

Доза облучения населения от загрязненного грунта формируется за счет находящихся в грунте радионуклидов ²³²Th и ²²⁶Ra и их дочерних продуктов.

Радионуклидный состав. Торий ²³²Th — природный радиоактивный нуклид, родоначальник радиоактивного семейства тория, которое включает 11 радионуклидов и заканчивается стабильным нуклидом ²⁰⁸Pb. Из дочерних продуктов максимальный период полураспада имеет ²²⁸Ra (5,75 года), что с учетом вероятного периода формирования загрязнения, позволяет уверенно предполагать, что в настоящее время ²³²Th находится в равновесии со всеми дочерними продуктами распада, то есть в природном состоянии. Несмотря на то что, в составе цепочки распада имеется радиоактивный газ ²²⁰Rn, период распада его мал, и эманация ²²⁰Rn из почвы не может значимым образом нарушить равновесные соотношения. Таким образом, для оценки доз облучения населения от локальных участков радиоактивного загрязнения вблизи промплощадки МЗП необходимо учитывать ²³²Th вместе с равновесными дочерними продуктами распада.

²²⁶Ra принадлежит к радиоактивному семейству ²³⁸U и образуется как побочный продукт переработки урановой руды. Сам по себе ²²⁶Ra альфа-радиоактивен, однако среди дочерних продуктов распада есть бета- и гамма-излучающие радионуклиды. Равновесие со всеми дочерними продуктами наступает примерно через 100 лет, однако с основными дозообразующими нуклидами, ²¹⁴Pb (83,7%) и ²¹⁴Bi, создающими около 98% вклада в дозу внешнего излучения ²²⁶Ra, равновесие наступает уже через 17 суток. В результате распада ²²⁶Ra возникает радиоактивный газ ²²²Rn с периодом полураспада 3,82 суток, малая часть которого будет выходить из почвы. Таким образом, для оценки дозы облучения населения от локальных участков радиоактивного загрязнения ²²⁶Ra целесообразно использовать равновесные соотношения, что будет соответствовать консервативному подходу.

Доза внешнего гамма-излучения от загрязненного грунта. Доза облучения населения от загрязненного грунта формируется за счет внешнего гамма-излучения от грунта, ветрового подъема радиоактивных веществ и последующего их переноса с воздухом.

Учитывая данные прямых измерений, максимальная эффективная доза внешнего гамма-излучения при постоянном в течение года пребывании на загрязненном участке территории составит около 1,8 мЗв в год. С учетом наиболее вероятного режима поведения человека на данной территории, можно предположить, что максимальная эффективная доза внешнего гамма-излучения *не превышает 0,2 мЗв*. Это меньше установленного НРБ-99/2009 основного предела годовой дозы от техногенного облучения для населения (1 мЗв/год).

Дополнительная годовая доза внешнего облучения людей, каждый день находящихся в течение 1 часа на платформе Москворечье, составляет *не более 20 нЗв (нанозиверт) в год*, что в 100 000 раз ниже фонового облучения москвичей от естественных источников (2,99 мЗв/год), в 50 000 раз ниже основного предела дозы (1 мЗв/год) и в 5 000 раз меньше допустимого уровня при использовании промышленных отходов (100 мкЗв/год). Для жителей ближайшего к загрязненному участку жилого дома по адресу Каширское шоссе, д.51 к.2 (менее 250 м от источника) годовые дозы еще меньше – *около 10 нЗв в год*. Таким образом, сохранение существующей ситуации в случае отмены строительства не несет каких-либо угроз для проживающего поблизости населения.

Доза за счет ветрового подъема. Моделирование переноса радиоактивных веществ в атмосфере и оценка доз облучения населения проводилось с помощью аттестованного программного средства «Нострадамус», реализующего лагранжеву стохастическую модель атмосферного переноса [63]. Моделировался источник, образованный в результате ветровой эрозии почвы, загрязненной радиоактивными веществами. Приведем краткое описание метода оценки интенсивности ветрового подъема.

В качестве входных метеорологических данных использовались исторические данные наблюдений за 10 лет (от 01.01.2010 до 31.12.2019) со скважностью 12 часов, полученные с помощью портала GISMETEO [64]. При расчетах источника, образованного в результате ветровой эрозии почвы, учитывались осадки, среднее время формирования и продолжительность снежного покрова в г. Москве (с 26 ноября до 14 апреля). Суммарная эффективная доза за год для критической группы населения (дети от 12 до 17 лет) оценивалась по трем путям облучения: внешнее облучение от облака, внутреннее облучение от ингаляции при прохождении облака и внешнее облучение от поверхностных выпадений.

Максимальное расчетное значение средней эффективной дозы за год составляет 130 нЗв. Это примерно в 7500 раз меньше основного предела дозы для населения (1 мЗв/год) и в 750 раз ниже уровня, допустимого при использовании промышленных отходов, содержащих природные радионуклиды (100 мкЗв/год).

Исключительно для иллюстрации проведенных расчетов на рис. 18 представлено распределение средней за 10 лет суммарной эффективной дозы на детей возрастом от 12 до 17 лет за год за счет ветрового подъема, полученное после статистической обработки результатов. Средняя эффективная доза за год на жителей ближайшего жилого дома по адресу Каширское шоссе 51 к2 (менее 250 м от источника) составляет 12 нЗв. Это примерно в 75 000 раз меньше основного предела дозы для населения (1 мЗв/год).

Таким образом, проведение строительных работ на УРЗ без изъятия загрязненных материалов не несет каких-либо угроз для проживающего поблизости населения. Эти же оценки показывают, что, если строительные работы будут проводиться в течение месяца, облучение работников также будет находиться в области пренебрежимо малых доз.

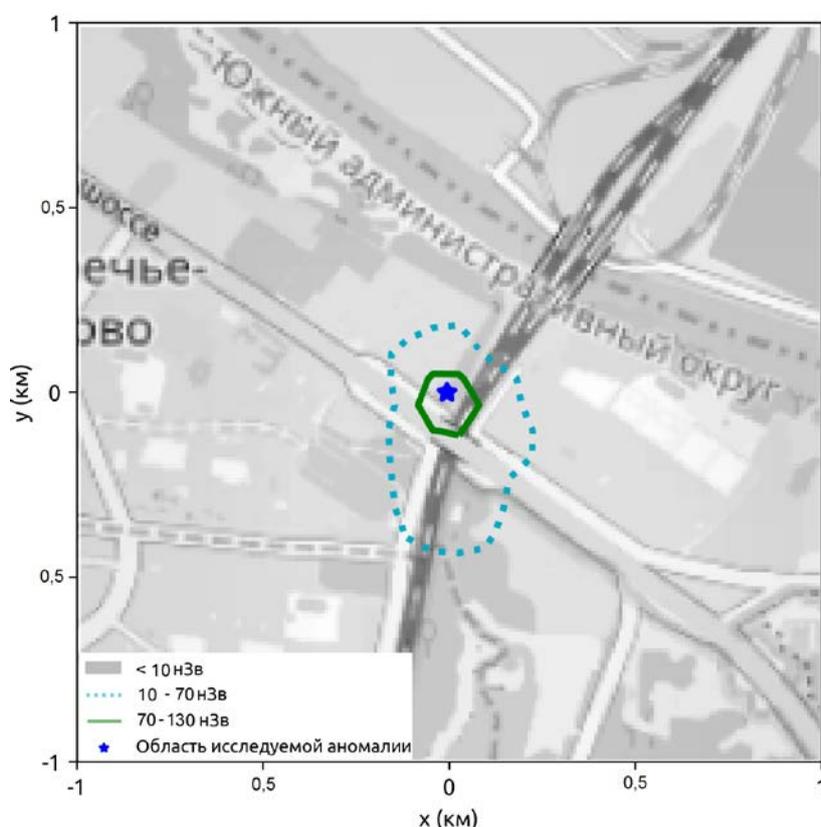


Рисунок 18 – Эффективная доза облучения населения (дети от 12 до 17 лет) за год от источника ветрового подъема вблизи юго-восточной границы МЗП

Оценки доз для сценария удаления загрязненных материалов. В рамках наиболее консервативного подхода к оценке последствий удаления загрязненного грунта, предположим, что весь загрязненный радионуклидами ^{232}Th и ^{226}Ra грунт (по нашим оценкам его объем $\sim 100 \text{ м}^3$) распределен в верхнем слое почвы на площади 1500 м^2 вдоль узкой полосы между границей МЗП и железнодорожными путями.

Для оценки доз облучения населения от данного источника пылеобразования использовалась аттестованное программное средство «Нострадамус». Статистическая обработка результатов распределения усредненной за 10 лет суммарной эффективной годовой дозы, полученной детьми в возрасте 12 – 17 лет (критическая группа) за счет ветрового подъема активности, показала, что максимальное значение не превысит 5100 нЗв (5,1 мкЗв). Таким образом, для этого сценария годовая доза облучения населения выше максимального расчетного значения (130 нЗв) примерно в 40 раз, но и в этом случае дозы остаются в 200 раз меньше основного предела дозы для населения (1 мЗв/год) и не требуют какого-либо вмешательства.

Следует отметить, что эти расчеты основаны на оценках запаса радиоактивных веществ в грунте и, соответственно, результаты имеют неопределенность в пределах одного математического порядка. Для сравнения, при ветровом подъеме 100 м^3 грунта, загрязненного на уровне пробы, взятой ТТ в точке Т2 (рис. 7), годовая доза за счет ингаляции увеличится примерно в 4 раза, но общий вывод не изменится.

Метод оценки интенсивности ветрового подъема. Для расчета интенсивности ветрового подъема радиоактивных веществ с верхнего слоя почвы были выбраны существующие полумпирические модели ветрового подъема пыли [65, 66] и критической скорости ветра [67], при превышении которой фактическими значениями скорости ветра (измеренными на метеостанциях или полученными из численных прогностических погодных моделей) подъем пыли становится устойчивым.

Необходимые для расчетов показатели почв, характерных для южных районов Москвы, были получены с использованием международных баз данных - Harmonized World Soil Database (HWSD) [68, 69] и Food and Agricultural Organization Soil Map of the World (FAO SMW) [70,71]. Согласно этим данным верхний слой почвы (до 30 см от поверхности) содержит (по массе) 11% глины (размер почвенных частиц 0,001÷0,005 мм), 54% илистых фракций (размер почвенных частиц 0,005-0,074 мм) и 35% песка (размер почвенных частиц 0,074÷2 мм). По диаграмме Ферре был определен соответствующий этим значениям тип почв – пылеватый (илистый) суглинок, наиболее близкий к дерново-подзолистым почвам. Количественная оценка влияния вариаций почвенного состава на результирующие дозовые характеристики приводится ниже.

Для каждой из трех вышеуказанных почвенных фракций были рассчитаны средний диаметр почвенных частиц, критическая скорость трения U_{th}^* , а также интенсивность дефляции верхнего слоя почвы q (кг/(м²·с)) для разных состояний устойчивости атмосферы. Для оценки q значения фактической скорости ветра на высоте флюгера предварительно преобразовывались в динамическую скорость трения U^* [72]. Полученные значения q использовались далее как характеристики источника выброса при расчете атмосферного переноса примесей и оценке дозовых функционалов.

Погрешность исходных данных при расчете доз облучения. Погрешность оценки доз облучения населения определяется совокупностью погрешностей исходных данных, моделей, приближений и допущений, использованных при расчете доз облучения населения на основе результатов радиационного исследования территории и спектрометрического анализа проб почвы, взятых вблизи южной границы промышленной площадки МЗП. Основные погрешности связаны с оценкой:

1. Характеристик загрязнения почвы (средняя плотность загрязнения приповерхностных участков почвы, вовлеченных в процесс ветрового пылеподъема, и площадь загрязненного участка);
2. Источника вторичного пылеподъема на основе используемых характеристик почвы;
3. Приземных концентраций радиоактивных веществ в атмосфере на основе Лагранжевой модели распространения примеси в атмосфере, используемой в расчетах.

1. Оценка характеристик загрязнения почвы. Для оценки источника вторичного пылеподъема необходимо знание средней плотности загрязнения приповерхностного участка почвы, вовлеченного в процесс ветрового пылеподъема. Оценка средней плотности загрязнения проводилась на основе результатов анализа пробы почвы, отобранной в точке с характерной для пятна мощностью дозы на высоте 1 м. Глубина пробы составила 6 см. Погрешность измерений удельной активности радионуклидов не превышала 30%. При обработке результатов спектрометрического анализа предполагалось, что распределение активности по глубине грунта является равномерным. Учитывая период возможного загрязнения и процесс естественного заглубления активности, можно предположить, что такая оценка носит консервативный характер.

Площадь загрязненного участка – второй параметр, определяющий интенсивность источника вторичного пылеподъема. В процессе радиационного обследования площадь участка определялась визуально путем обхода его вдоль линии с мощностью дозы 0,15-0,20 мкЗв/ч. Можно предположить, что погрешность определения площади загрязненного участка не превысит 300%.

Таким образом, погрешность данных по загрязнению почвы, на основе которых рассчитывался источник вторичного пылеподъема для оценки доз в сложившейся ситуации, не превышает 300%. Погрешность данных по загрязнению почвы, на основе которых рассчитывался источник вторичного пылеподъема для сценария перемещения грунта, можно оценить как один порядок величины.

2. Оценка источника вторичного пылеподъема по характеристикам почвы. Как указывалось выше, исходные данные по почвенным характеристикам (структурному составу почвы) получены из мировой (в том числе, европейской) базы данных по почвенному составу для почвы рассматриваемого района г. Москвы. Эти данные имеют конкретные значения без указания возможных погрешностей их определения (принимаются как референсные значения), а именно в состав почвы входят 11% глинистой фракции (размер почвенных частиц 0,001-0,005 мм), 54% илистой фракции (размер частиц 0,005-0,074 мм), 35% песчаной фракции (размер почвенных частиц 0,074-2 мм)¹⁶. Этот состав почвы, согласно диаграмме Ферре, соответствует типу почвы - пылеватый (илистый) суглинок, близкий к дерново-подзолистым почвам. Однако, диаграмма Ферре в общем случае допускает наличие следующих диапазонов содержания указанных компонент в почве данного типа (границы приведенных ниже диапазонов не включаются в рассмотрение, так как могут соответствовать другим типам почвы):

- глинистая фракция – до 25%;

¹⁶ Размер частиц соответствует шкале AASHO

- илестая фракция – от 50% до 80%;
- песчаная фракция – до 50%.

Исходя из этого, для оценки влияния состава почвы на результирующие дозовые характеристики, в дополнение к исходному (референсному) почвенному составу (11-54-35) были рассмотрены еще два варианта почвенного состава, отвечающие близким к краям диапазонов значениям отдельных компонент при условии наличия всех трех компонент в составе почвы:

- «состав №1» - глинистая фракция – 15%; илестая фракция – 60%, песчаная фракция – 25% (15-60-25);
- «состав №2» - глинистая фракция – 20%; илестая фракция – 70%, песчаная фракция – 10% (20-70-10).

В качестве дозовой характеристики для сравнения принята полная эффективная доза облучения в точке максимума прогнозируемой приземной концентрации. Полученные результаты показали, что по сравнению с референсным почвенным составом отклонения в оценке эффективной дозы облучения не превышают 35% для почвенного состава №2 и 13% для состава №1.

3. *Оценка приземных концентраций радиоактивных веществ в атмосфере на основе Лагранжевой модели атмосферной дисперсии.* При моделировании среднегодовых доз облучения населения, проживающего в радиусе 4 км, использовались метеорологические данные за 10 лет, полученные из открытого источника Gismeteo [73]. Использовались данные, отмеченные в источнике как репрезентативные для Москвы. Использование метеорологических данных за 10 лет позволяет провести оценку среднегодовых доз облучения в предположении, что розы ветров для рассматриваемой территории коррелируются с розами ветров в месте проведения метеорологического мониторинга. С учетом вышеизложенного, погрешность по направлению ветра составляет 22,5 градуса, по скорости ветра - 0,5 м/с (эти значения приняты как половина цены деления шкалы скорости и направления ветра). Так же при моделировании учитывалось наличие или отсутствие осадков.

В соответствии с данными ряда исследований погрешность при моделировании каждого отдельного сценария (сценарий расчета атмосферной дисперсии на основе метеорологических рядов, построенных по десятилетней истории метеорологических наблюдений) определяется как фактор 10. Эта величина определяется тем, что модель используется в нестандартных для нее условиях, так как в связи с отсутствием данных не учитываются плотная городская застройка, влияние транспортных потоков, влияние водоемов и промышленных объектов на перенос.

Отметим еще одно обстоятельство. Загрязненный участок расположен в неорганизованной зеленой зоне с большим количеством деревьев. Во время отбора проб грунта практически вся территория (за исключением следов пробоотбора) была покрыта листовым опадом. Эта тонкая лесная подстилка служит естественным барьером для выхода радионуклидов в атмосферу при ветровом подъеме. Таким образом, оценки источника вторичного пылеподъема и полученные оценки доз для сложившейся ситуации носят теоретический характер. Реальные дозы за счет вторичного пылеподъема, вероятно, на 2-3 порядка меньше. Однако для сценария перемещения грунта сделанные выше оценки доз и погрешностей правомерны.

2.4 Итоги оценки и прогноза радиационной обстановки и доз облучения

Суммируем основные выводы. Анализ результатов измерений параметров радиационной обстановки, проводившихся в полосе отвода хорды в 2019 году специалистами ФГУП «Радон», ООО «ТехноТерра» и ИБРАЭ РАН, подтвердил наличие локальных очагов загрязнения грунта природными радионуклидами в пределах ранее принадлежавшей МЗП территории.

В целом результаты разных измерительных групп не противоречат друг другу. Значимые расхождения по мощности дозы на высоте 0,1 м и концентрациям ^{232}Th и ^{226}Ra в пробах грунта могут объясняться сложным пятнистым характером сформировавшегося загрязнения, наличием скважин и следов выброса грунта на поверхность, а также отличиям процедур, применявшихся при отборе проб, измерениях и обработке материалов.

Для исчерпывающей оценки степени опасности радиационной обстановки и ее возможных изменений при строительстве автодороги специалисты ИБРАЭ РАН оценили дозы для разных сценариев облучения населения. Во всех случаях речь шла о диапазоне пренебрежимо малых доз (таблица 7). В случае ветрового разноса загрязненного грунта максимальные уровни облучения критической группы (дети 12-17 лет) оказались в 200 раз меньше основного предела дозы (1 мЗв/год).

Таким образом, сохранение существующей ситуации на УРЗ, так же как проведение строительных работ (как без изъятия, так и с удалением загрязненных материалов) не несет каких-либо угроз для проживающего поблизости населения. Эти же оценки показывают, что, если строительные работы будут проводиться в течение месяца, облучение работников, и тем более облучение населения, также будет находиться в области пренебрежимо малых доз.

Таблица 7. Максимальная эффективная доза облучения для разных условий облучения

Условия облучения	Пути облучения	Среднегодовая доза, мЗв/год
Эпизодическое посещение УРЗ	Внешнее облучение от загрязненного грунта	0,2
Нахождение в течение 1 часа на платформе Москворечье		0,00002
Проживание в доме по адресу Каширское шоссе дом 51 корп.2		0,00001
Постоянное нахождение критической группы (дети 12-17 лет) на УРЗ	Суммарное облучение при ветровой эрозии поверхностного слоя почвы	0,00013
	Суммарное облучение при пылевом разное загрязненных материалов	0,005

В завершение еще раз подчеркнем, что речь идет об очень малом изменении техногенного фона¹⁷, который является одной из составляющих повседневного облучения любого человека. Среднегодовая доза от техногенного фона в Москве равна 0,005 мЗв. Малое изменение (максимум удвоение) техногенного фона при строительстве хорды можно рассчитать теоретически, но невозможно выявить практически. Источник дополнительного облучения в данном случае – природные радионуклиды ²³²Th и ²²⁶Ra. Эти и еще некоторые радионуклиды дают вклад в природный радиационный фон, сопровождающий человека повсеместно. Средние дозы облучения природными радионуклидами по Москве (2,99 мЗв) примерно в шестьсот раз больше техногенной составляющей.

Природная компонента облучения очень сильно меняется от места к месту. Например, в Ставропольском крае доза от природного фона в 2 раза больше, чем в Москве. В таблице 3, представляющей обобщенные данные Научного комитета по действию атомной радиации ООН, указано, что усредненная в целом по миру годовая доза облучения от природных радионуклидов составляет 2,4 мЗв. Типичный диапазон годовых доз от природного фона в мире – 1-13 мЗв. Значительные группы населения живут в условиях аномально высокого природного фона, достигающего до 20 мЗв в год. Понятно, что здоровье этих групп людей стало предметом пристального внимания эпидемиологов. Но никаких серьезных отклонений в онкологической заболеваемости не обнаружено. В то же время негативное действие облучения при достаточно высоких дозах облучения, в сотни и тысячи раз превышающих дозу от типичного природного фона, является неоспоримым научным фактом. Высокие дозы были, например, после ядерных взрывов в Хиросиме, в острой фазе Чернобыльской аварии и т. д.

3 Обсуждение

Перед тем, как обсуждать экологический конфликт вокруг бывшей территории МЗП, напомним, что государственные органы и службы, специализированные органы по вопросам радиационной защиты, безопасности и охране здоровья в своей практической деятельности должны руководствоваться национальными и международными принятыми подходами к радиационной безопасности.

В ситуации существующего облучения, к которым относится рассматриваемый случай, международная система радиационной защиты прямо предполагает, что вмешательство связано с вредом (затраты на вмешательство и вероятное повышенное облучение работников и населения и др.). При дозах облучения ≤ 10 мЗв/год вмешательство считается необоснованным [37].

3.1 Опыт реабилитационных работ в районах плотной жилой застройки

Проблема вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии и очистки городской территории от радиоактивного загрязнения для Москвы не нова. Работы по выявлению и дезактивации загрязненных территорий приобрели массовый характер уже несколько десятилетий тому назад. Выше мы уже приводили примеры работ по Курчатовскому научному центру и по выводу из эксплуатации корпуса «Б» ВНИИНМ.

Всего в период 1971-2013 гг. силами «Радона» были ликвидированы более 1000 участков радиоактивного загрязнения. Примерно в 37% случаев загрязнение было связано с техногенными радионуклидами (в основном ⁹⁵Nb/⁹⁵Zr и ¹³⁷Cs), около 60% были загрязнены изотопами природного радия ²²⁶Ra. Например, московские авиационные предприятия долгое время свозили списанные приборы, на шкалы которых наносился светосостав постоянного действия на основе солей ²²⁶Ra, в бывший противотанковый

¹⁷ Фон техногенный радиационный – излучение от источников ионизирующего излучения, используемых в различных сферах человеческой деятельности или образующихся в результате этой деятельности..

ров в районе «Поклонной горы». Мощность дозы гамма излучения доходила до 20 мЗв/ч. Данный очаг загрязнения был дезактивирован специалистами «Радона» [26].

Приведем еще пример УРЗ большой по городским меркам площади. В 1994 году в ходе радиационного контроля на территории строительства микрорайона «Братеево» было выявлено масштабное несанкционированное захоронение. Грунт был загрязнен изотопами уран-ториевого ряда. По инициативе Главного Государственного санитарного врача по г. Москве строительство было приостановлено. С территории вывезены для захоронения на полигон «Радона» около 10 тонн РАО и порядка 100 тыс. тонн особо низкоактивных отходов¹⁸, после чего строительство было продолжено [74].

Загрязнение на береговом склоне Москвы-реки за промплощадками четырех организаций (МЗП – ВНИИМ – ВНИИХТ – МИФИ) более 10 лет входит в перечень контролируемых «Радоном» УРЗ. Его площадь (~ 0,3 км²) сопоставима с масштабами нескольких ранее ликвидированных загрязнений [26]. До последнего времени вопрос о ликвидации в практическом плане не поднимался; достаточно было поддерживать радиационную безопасность на удовлетворительном уровне за счет проведения регулярного контроля и минимально необходимых мер вмешательства.

На повестке дня с начала годов 1990-х стояли более острые вопросы. В Москве в числе первоочередных была задача снижения потенциальной радиационной опасности исследовательских ядерных реакторов и других ядерных установок, работавших в городе с конца 1950-х – начала 1960-х годов и исчерпавших свой ресурс [75]. Для этого требовалось не только выполнение технически сложных работ в особо опасных радиационных условиях, но и применение новых уникальных методов и технологических решений. Суммарная активность образующихся при этих работах твердых РАО оценивалась на уровне 10¹⁴ Бк [75]. Из-за экономического кризиса в стране эти работы долгое время не получали необходимого финансирования. Ситуация изменилась в 2008 году после утверждения Федеральной целевой Программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года». Работы по ликвидации ядерного наследия в Курчатовском институте завершились реабилитацией территории площадки и снятием исследовательских реакторов МР с контролирующего учета. За время работ на периметре Курчатовского института не было ни одного случая превышения контрольных нормативов.

За пределами Москвы решались другие не менее сложные проблемы ядерного наследия. Например, на комбинате «Маяк» на Южном Урале в 2015 году была закрыта акватория промышленного водоема Карачай, в котором накопленная активность превышала 10¹⁸ Бк [8]. Для сравнения запас активности в полосе отвода Юго-Восточной хорды оценен на уровне 10⁷ ÷ 10⁸ Бк, то есть в десять миллиардов раз меньше.

Возвращаясь к анализу безопасности УРЗ на границе МЗП отметим, что в прошлом эта территория не давала сколько-нибудь заметного вклада в облучение жителей соседних домов, в том числе использующих железнодорожную платформу Москворечье. Сегодня после определения будущего целевого использования земли ликвидация УРЗ также не представляет проблем ни в организационно-техническом плане, ни в плане обеспечения радиационной безопасности. Приведенные выше оценки подтверждают это. Консервативные (рассчитанные с большим запасом прочности) дозы для детей, связанные с подъемом пыли при строительстве хорды, не превышают 0,005 мЗв в год. Эта добавка, как мы видели выше, сопоставима повседневному облучению жителей Москвы от техногенного фона (0,005 мЗв/год), и примерно в 200 раз меньше средней дозы от медицинских источников (0,95 мЗв/год) и в 600 раз меньше дозы от природного фона в Москве (2,99 мЗв/год).

Таким образом, наличие УРЗ, возможные контролируемые нарушения его существующего состояния, включая его ликвидацию дают дополнительные дозы, которые укладываются в диапазон средних по Москве доз облучения от техногенно измененного фона¹⁹. Дозовый предел для населения (1 мЗв/год) может быть превышен только в случае постоянного, то есть круглосуточного пребывания на наиболее загрязненном участке УРЗ. Из этого не следует, что работы по очистке и реабилитации загрязненного склона не нужны, просто их значимость в плане улучшения качества жизни и здоровья населения не следует преувеличивать.

3.2 Выбор экологических приоритетов

Улучшение качества окружающей среды в городе должно быть ориентировано в первую очередь на предупреждение экологически обусловленных заболеваний и создание условий для здорового образа жизни. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) считает, что сегодня загрязнение воздуха является одним из важнейших факторов развития неинфекционных заболеваний. На долю этого фактора приходится около четверти (24%) всех случаев смерти среди взрослого населения от болезни сердца, 25% – от инсульта, 43% – от хронической обструктивной болезни сердца и 29% – от рака легких [76]. Похожие оценки есть и для России [77].

¹⁸ ОНАО - грунт и материалы с мощностью дозы гамма-излучения <3 мкЗв/ч и удельной активностью по ¹³⁷Cs и ²²⁶Ra <10000 Бк/кг [70]

¹⁹ Техногенно измененный радиационный фон - естественный радиационный фон, измененный в результате деятельности человека (цитируется по [30], ст.1)

Даже в относительно небольших концентрациях находящиеся в атмосферном воздухе взвешенные частицы (particulate matter – PM) могут оказывать неблагоприятное воздействие на здоровье людей. Взвешенные частицы образуются в результате работы некоторых производств, а также за счет износа дорожного покрытия и автомобильных шин и выбросов выхлопных газов. Они могут находиться в воздухе в течение многих дней и недель и переноситься по воздуху на большие расстояния. Человек может подвергаться экспозиции везде, независимо от его воли и желания [78].

Особенно уязвимы к действию взвешенных частиц люди с заболеваниями легких или сердца, а также пожилые люди и дети. Кроме негативного действия на сердечнососудистую систему и органы дыхания известно также о мутагенной активности этих загрязнителей воздуха. Причем доказано, что факторы химического происхождения на несколько порядков превышают активность физических факторов (ионизирующая радиация), часто обладают значительно более специфическим и тонким действием на структуру клетки [79]. Причиной подобных эффектов могут быть адсорбируемые на поверхности взвешенных частиц тяжёлые металлы и бенз(α)пирен. Причем нет никаких данных, которые бы подтверждали наличие какого-либо безопасного уровня экспозиции или порога, ниже которого не наступает никаких негативных последствий для здоровья [78].

В Москве качество воздуха постепенно улучшается. За последние десять лет суммарный объем выбросов в атмосферу снизился на 20%. Загрязнение воздуха на жилых территориях в среднем снизилось до двух раз [80]. По данным экомониторинга в 2018 году среднегодовые концентрации основных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (CO, NO₂, NO, PM₁₀, PM_{2,5}) в целом по городу соответствовали российскому нормативу, но на части территорий регистрировались превышения. Максимальными были превышения рядом с автомагистралями. Допустимые среднесуточные уровни (ПДКсс) превышались в 3 с лишним раза, допустимые разовые уровни (ПДКмр) в 4÷5 раз [81].

Нормативы ВОЗ по токсическим веществам заметно жестче российских (таблица 8), и сегодня их превышение регистрируется на всей территории города (рис. 19, 20) [79]. Например, по данным Департамента природопользования и охраны окружающей среды города Москвы в 2018 году на приаггальных территориях рекомендованное ВОЗ значение среднегодовой концентраций PM₁₀ превышалось до 2,5 раз.

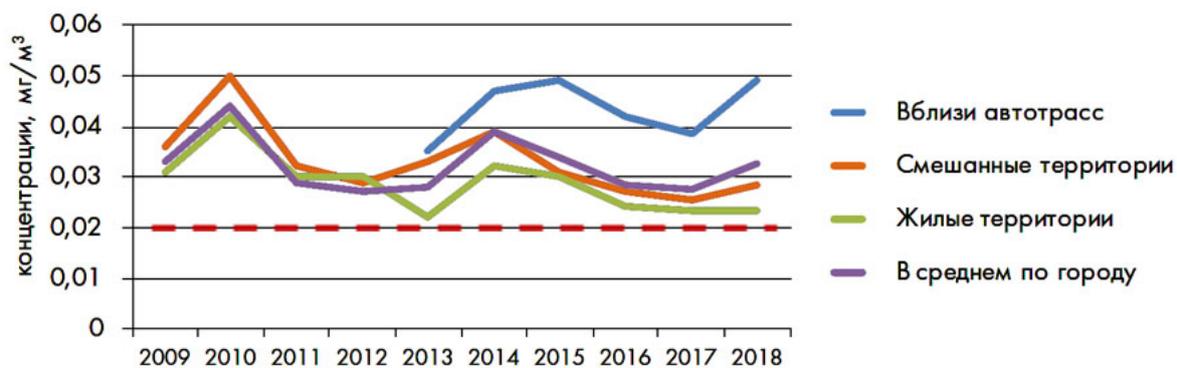


Рисунок 19 – Среднегодовые концентрации взвешенных частиц PM10 в атмосферном воздухе Москвы [81], пунктирная линия обозначает нормативный уровень ВОЗ (20 мкг/м³)

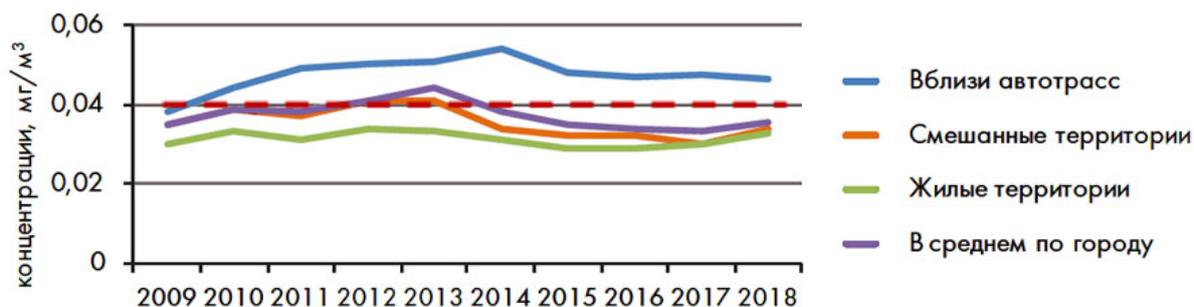


Рисунок 20 – Среднегодовые концентрации NO₂ в атмосферном воздухе Москвы [81], пунктирная линия обозначает нормативный уровень ВОЗ (40 мкг/м³)

Среди химических вредных веществ, по содержанию которых воздух в Москве не дотягивает до стандартов ВОЗ, отметим диоксида азота NO_2 . Вблизи автотрасс в 2018 году рекомендованное ВОЗ значение среднегодовой концентраций было превышено в 1,7 раз [82]. Диоксид азота относится к веществам 2-го класса опасности. Этот бурый газ с удушливым запахом является основным источником нитратных аэрозолей, образующих одну из основных фракций $\text{PM}_{2,5}$, а в присутствии ультрафиолетового света — озона. Основными источниками антропогенного образования NO_2 являются процессы сгорания (обогрев, выработка электроэнергии, работа двигателей машин и судов). Эпидемиологические исследования показали, что симптомы бронхита у детей, больных астмой, при длительном воздействии NO_2 усугубляются. Снижение функции легких также связывают с воздействием NO_2 при уровнях концентрации, регистрируемых (или наблюдаемых) в настоящее время во многих городах Европы и Северной Америки [83].

Таблица 8. Среднегодовые и среднесуточные допустимые уровни загрязнения воздуха (ПДК взвешенных веществ частиц PM_{10} и $\text{PM}_{2,5}$; $\text{мкг}/\text{м}^3$)

Взвешенные частицы	ПДК среднегодовая		ПДКсс среднесуточная	
	ВОЗ	Россия	ВОЗ	Россия
PM_{10}	20	40	50	60
$\text{PM}_{2,5}$	10	25	25	35
NO_2	40	60	500	400

Если исходить из научно-обоснованных рекомендаций ВОЗ, в Москве повышение качества атмосферного воздуха является одним из главных экологических приоритетов. В 2015 году риск смерти от хронического воздействия PM_{10} оценивался российскими специалистами на уровне 2500 – 3000 дополнительных случаев на 12 млн. человек населения ($\approx 2 \cdot 10^{-4}$) [84]. В последние годы риск от взвешенных частиц, как уже говорилось, снизился, но суммарный риск, связанный с техногенным загрязнением воздуха, остается существенно выше целевого для Москвы уровня $10^{-5} - 10^{-6}$.

Здесь уместно напомнить, что радиационная безопасность населения в Москве уже много лет обеспечивается на уровне, не допускающем превышения основного предела дозы для населения. Основной предел дозы для населения соответствует дополнительному пожизненному риску $5 \cdot 10^{-5}$. Облучение от УРЗ, как мы видели, как минимум на два порядка ниже основного предела дозы, значит, риски заведомо ниже 10^{-6} .

При выборе экологических приоритетов сегодня и в мире, и в России главным инструментом является именно сравнительный анализ рисков [85, 86], поскольку он позволяет преодолеть асимметричность нормирования, основанного на концепции ПДК (химическое воздействие на человека в ряде случаев нормировано менее жестко, чем радиационное).

3.3 Сравнительный анализ рисков

Современный научный подход к принятию решений в области охраны окружающей среды основан на понятии социально приемлемого риска. Риск, который считается обычным при данных обстоятельствах, существующих ценностях и возможностях общества и государства, считается приемлемым. В России при оценке воздействия химических веществ, загрязняющих окружающую среду, Минздрав определил следующие уровни приемлемого риска [86]

- пренебрежимо малый уровень риска $1 \cdot 10^{-6}$ (один дополнительный случай смерти на 1 млн. экспонированных лиц), риски на этом уровне и ниже не требуют мероприятий по их снижению;
- предельно допустимый риск $1 \cdot 10^{-4}$ – верхняя граница приемлемого риска. Риски в диапазоне от $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-4}$ подлежат постоянному контролю, а в некоторых случаях требуют дополнительных мер по их снижению.

Для долгосрочных экологических программ целевой уровень риска определен Минздравом РФ на уровне $10^{-5} \div 10^{-6}$ (ВОЗ рекомендует значение $\leq 10^{-6}$) [86].

При оценке радиационных рисков во всем мире исходят из того, что основной предел дозы для населения соответствует дополнительному пожизненному риску $5 \cdot 10^{-5}$ от годовой экспозиции (соответствует целевому уровню по химическому риску). По факту дозовые нагрузки от объектов использования атомной энергии на несколько порядков ниже основного предела дозы, даже рядом с крупными предприятиями атомной отрасли, а риски соответствуют пренебрежимо малому уровню. В качестве примера сошлемся на результаты сравнительного анализа рисков в районах размещения предприятий атомной отрасли. Эти работы проводились в ИБРАЭ РАН с начала 2000-х годов [87]. Сравнение канцерогенного риска от разных факторов внешней среды вблизи Ленинградской АЭС, Нововоронежской АЭС и в Ангарске, где расположен электролизный химический комбинат атомной отрасли, показало, что радиационные риски пренебрежимо малы (10^{-6}) и значительно ниже рисков от воздействия других вредных факторов.

Например, Ангарский электролизный химический комбинат (АЭХК) выпускает обогащённый уран топливных элементов для АЭС. Показано, что в Ангарске взвешенные частицы (PM) в атмосферном воздухе обуславливают ≈86% суммарного техногенного риска. Вклад канцерогенного риска от АЭХК составляет тысячные доли процента (≈ 0,004%), рис. 21. При этом нужно понимать, что дозовые нагрузки на население Ангарска не превышают 0,005 мЗв. Выявить такие дозы на фоне естественных флуктуаций типичного природного радиационного фона (2-4 мЗв/год) практически невозможно [88].



Рисунок 21 – Сравнение рисков воздействия техногенных факторов различной природы на здоровье жителей Ангарска [88]

Возвращаясь к ситуации вокруг МЗП, можно утверждать, что радиационные риски, связанные со строительством автодороги на УРЗ, находятся в диапазоне пренебрежимо малых величин, которые на несколько порядков меньше рисков, связанных с загрязнением атмосферного воздуха взвешенными частицами вблизи крупных московских автотрасс (табл. 9).

Таблица 9. Соответствие параметров внешнего воздействия гигиеническим нормативам и приемлемому уровню риска

Действующий фактор	Кратность превышения предельно допустимого уровня	Диапазон риска	Необходимые действия
Ветровой разнос радиоактивной пыли со стройплощадки ЮВХ	0,00015 (от основного предела дозы 1мЗв/год)	пренебрежимо малый риск ($< 10^{-6}$)	Мероприятия по снижению риска не требуются
Взвешенные вещества в воздухе вблизи автотрасс (2018)	3,3 для ПДК _{сс} 4,6 для ПДК _{мр}	Приемлемый риск ($10^{-5} \div 10^{-4}$)	Требуется постоянный контроль, в некоторых случаях дополнительные мероприятия по снижению риска

Еще раз повторим, что очисткой бывшей промзоны от радиационного загрязнения заниматься, конечно, надо. Но радиационная опасность, связанная с проведением строительных работ, объективно не может рассматриваться как аргумент в пользу прекращения строительства. В то же время субъективное восприятие радиационных рисков тоже нельзя сбрасывать со счетов.

3.4 Анализ с позиций коммуникации риска

В современных условиях управление экологическими рисками включает в себя и социальное управление тоже [89]. Когда речь заходит об опасности радиации, важно учитывать, что общественное восприятие радиационных рисков в диапазоне малых доз отличается от восприятия других видов рисков. Недооценка этой специфики при информировании населения зачастую является одним из основных факторов формирования затяжных экологических конфликтов [90,91].

Об особом восприятии обществом радиационного риска науке известно с конца 1960-х [92]. Мы не будем обсуждать здесь этот сложный социальный феномен, отметим лишь свойственную современному обществу особую предосторожность по отношению к облучению в малых дозах при использовании атомной энергии. Эта предосторожность проявляется как в теории, так и в практике регулирования.

В качестве теоретической основы регулирования радиационных рисков в диапазоне малых доз с 1970-х годов применяется консервативная линейная беспороговая гипотеза, согласно которой ионизирующее облучение может привести к вредным последствиям в любой, сколь угодно малой дозе. При дозах ниже 100 мЗв доказать эту гипотезу наука не может, но не может и опровергнуть. В итоге, эксперты по радиационной защите не могут утверждать: «Да, это безопасно», даже если дополнительные техногенные дозы сопоставимы с уровнем природного фона и ниже. Вместо этого они говорят о малости риска и не превышении дозовых нормативов.

В отличие от специалистов по радиационной защите, которые оценивают опасность, рассчитывая накопленные за определенное время дозы облучения, контролирующие органы ориентируются на измеряемые показатели и сравнивают их с контрольными уровнями. Это гораздо проще и понятнее. Но возникает другая проблема. В соответствии с принципом предосторожности многие контрольные уровни сегодня снижены до значений, которые уже не имеют реального физического смысла и не могут служить ориентиром при оценке радиационной опасности. Из-за этого в ситуации, когда контрольные уровни превышены, а дозовые нормативы выполняются, коммуникация рисков становится весьма проблематичной.

Специалисты не могут поверить, что даже многократное превышение контрольного (или фонового) уровня может быть безопасным, и воспринимают такую ситуацию как логическое противоречие «радиация есть – опасности нет» [93]. Интуитивно чувствуя это, представители власти стараются избежать кажущегося противоречия, и, информируют население в другом ключе. Они упрощают ситуацию, что обычно дает обратный эффект. Именно так произошло в Москве в 2019 году при публичном обсуждении планов строительства хорды рядом с границей МЗП.

Основываясь на выводах специалистов, городские власти информировали жителей о том, что на участке строительства хорды нет проблем с радиацией [94, 95 и др.]. Отталкиваясь от вывода экспертов о не превышении радиационно-гигиенических нормативов должностные лица утверждали, что в полосе строительства нет радиоактивных отходов, нет превышений радиационного фона [96]. Жители восприняли это как отрицание очевидного, поскольку данные о наличии УРЗ рядом с МЗП имелись в публичном пространстве. В адрес властей посыпались обвинения в том, что они не признают наличие радиации, что «радиация (и здоровье жителей) их вообще не волнует никак» [97,98 и др.].

Представители антиядерных организаций (РСОЭС, Гринпис), разъясняя интернет-сообществу опасность строительства дороги на УРЗ, также слишком упрощали ситуацию, но уже с алармистских позиций: на склоне «... накопано огромное количество — несколько десятков — ямок.... Если раньше отходы находились под слоем глины ... то теперь прибор показывает радиацию на поверхности грунта, ... угроза для населения на территории радиоактивного могильника возросла» [99]. Не вникая в детали (см. раздел 2.2.3), общественные эксперты сравнивали мощность дозы на поверхности загрязненного грунта с «нормой для жизни», в качестве которой взяли контрольный уровень для гамма-фона на высоте 1 м [95]. Увязывая вопрос о строительстве хорды с решением проблемы «по огромному объему РАО» [100, 101], общественные активисты оставляли за скобками такую «мелочь» как целевое назначение территории. Напомним, что в настоящее время оно определено только для узкого участка земли между границей МЗП и железной дорогой, где объем загрязненного грунта значительно меньше, чем на участке вдоль правого склона Москвы-реки.

Со стороны профессионального сообщества коммуникацией радиационных рисков фактически никто не занимается. У «Радона» нет такой задачи, поэтому он играет роль пассивного оппонента общественности. За последние три месяца на официальном сайте организации опубликованы 4 информационных сообщения о проведении подготовительных работ в районе платформы «Москворечье», представители «Радона» вошли в состав Рабочей группы Мосгордумы. Рабочая группа создавалась как площадка для открытого диалога по вопросам риска, но эта работа пока не началась.

Для «Радона» это не первый информационный конфликт. В аналогичную ситуацию организация попала, например, в 2007-2009 годах. Тогда речь шла о реабилитации УРЗ на участке, отведенном под строительство нескольких жилых домов на бульваре Маршала Рокоссовского в Восточном административном округе [102, 103 и др.]. По проекту рекультивация УРЗ на «Зеленой горке» должна была проводиться в процессе рытья котлована. Но как только территория была ограждена и появились строительные вагончики и техника, местное население стало обращаться в различные инстанции, проводились митинги, к протестной кампании подключились депутаты Московской городской Думы. В СМИ стали появляться материалы о том, что проведение вскрышных земляных работ загрязнит окружающую среду и близлежащие дома радиоактивными веществами.

Прошло 10 месяцев, дома были построены. Никаких нарушений с точки зрения радиационной безопасности населения надзорные органы не выявили. Что касается информирования жителей, «Радон» обеспечил «наглядное информирование о радиационной обстановке», «постоянную разъяснительную работу», и «отправил в различные инстанции, в том числе общественным организациям и населению 37 документов (ответов)» [102].

Возвращаясь в сегодняшний день, отметим, что за прошедшее десятилетие ни организация, ни подходы к информированию населения о реабилитации УРЗ в районах плотной жилой застройки не изменились. Рекомендованные МАГАТЭ методы коммуникации радиационного риска остаются невостребованными [93]. Не потому ли экологический кризис вокруг МЗП так напоминает ситуацию на «Зеленой горке»? Кажущееся противоречие между наличием радиационного загрязнения и отсутствием опасности власти и экологическая общественность не смогли преодолеть тогда, и никак не могут преодолеть сегодня.

В этой связи хочется надеяться, что представленные в настоящем препринте данные измерений, их подробные разъяснения и другие полезные сведения помогут заинтересованным сторонам найти общий язык и выйти из затянувшегося конфликта.

Заключение

В конце 2019 года, реагируя на общественную обеспокоенность по поводу возможного ухудшения радиационной ситуации при строительстве автотрассы рядом с границами МЗП, ИБРАЭ РАН выполнил экспертный анализ сложившейся ситуации.

Уже первые результаты не давали оснований для серьезного беспокойства. Экспертный анализ прошлой деятельности МЗП и опубликованных данных измерений, проведенных на УРЗ в 2019 году, показывал, что ситуация не является острой. Для проверки этого предварительного вывода было проведено ограниченное количество измерений, взяты пробы грунта, выполнены необходимые расчеты. Дозы облучения населения оценивались для разных вариантов развития событий: сохранение УРЗ в случае отмены строительства, проведение строительных работ без изъятия и строительство с удалением загрязненных материалов. По результатам были сделаны следующие выводы.

Ни один из рассмотренных сценариев не несет каких-либо угроз проживающим поблизости людям. Во всех случаях прогнозируемые среднегодовые дозы облучения жителей на $3 \div 5$ математических порядков меньше основного предела дозы для населения (1 мЗв/год), установленного НРБ-99/2009. Даже при мало реалистичном сценарии ветрового разноса всего загрязненного грунта ожидаемые дозы для критической группы населения

- сопоставимы с повседневным облучением москвичей от техногенно измененного фона (0,005 мЗв/год),
- в 200 раз меньше средней дозы от медицинских источников (0,95 мЗв/год) и
- в 600 раз меньше дозы от природного фона в Москве (2,99 мЗв/год).

Если строительные работы будут проводиться в течение месяца, облучение работников также будет находиться в области пренебрежимо малых доз.

Работы по очистке и реабилитации УРЗ не приведут к снижению уровня радиационной безопасности жителей Москворечья. В то же время они позволят очистить город от мусора, в данном случае радиоактивного. Степень очистки может быть разной. Это зависит от нескольких факторов, в том числе от будущего целевого использования территории и финансово-экономических возможностей инвестора. Устойчивое общественное беспокойство также должно быть принято во внимание. Однако желание снизить пренебрежимо малые радиационные риски до абсолютного нуля не должно вытеснить из общественного сознания и бюджета другие, зачастую более существенные риски нерадиационной природы.

В этой связи хочется выразить надежду, что представленные в настоящем препринте подробные комментарии проведенных измерений, дозовые оценки и другие полезные сведения помогут заинтересованным сторонам преодолеть кажущееся противоречие между наличием радиационного загрязнения и отсутствием радиационной опасности и выйти из затянувшегося конфликта.

Благодарности

Авторы выражают признательность Соколовой Ольге Николаевне за обсуждение волнующих местных жителей вопросов радиационной безопасности, организацию общественного представительства при работе мобильной группы ИБРАЭ на проблемном участке и предоставление собранных интернет-общественностью информационных материалов по теме радиационного загрязнения бывшей территории МЗП.

Авторы также благодарят Красноперова Сергея Николаевича, заведующего отделением развития систем аварийной готовности и реагирования ИБРАЭ, и Гаврилова Сергея Львовича, заведующего отделением научно-технических проблем развития комплексных систем мониторинга ИБРАЭ, за организацию в своих подразделениях инициативной научно-исследовательской работы, результаты которой легли в основу настоящего препринта.

Литература

1. Глобальные проблемы экологии. Мнения россиян об изменении климата и других мировых экологических проблемах. 31 октября 2019. URL: <https://fom.ru/Obraz-zhizni/14281> (дата обращения 03.04.2020)
2. Кульбачевский А.О. Зеленый мегаполис – комфортная среда для жителей Москвы. // Научно-практический журнал Московского городского университета управления Правительства Москвы. — 2017. № 4. — С.2–9
3. Основные направления исследований в области безопасности атомной энергетики. Результаты работ за 1988—2018 гг. — Под общ. ред. акад. РАН Л. А. Большова.— М.: Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (ИБРАЭ РАН). — 2018. — 240 с. URL: <http://www.ibrae.ac.ru/pubtext/256/> (дата обращения 03.04.2020)
4. Барковский А.Н., Братилова А.А., Кормановская Т.А., Ахматдинов Р.Р., Ахматдинов Р.Р. Динамика доз облучения населения Российской Федерации за период с 2003 по 2018 г. // Радиационная гигиена. — 2019. №12(4). С.96–122. URL: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-4-96-122> (дата обращения 13.04.2020)
5. В Москву вернулся страх радиации: что показал дозиметр. 29 января 2020. URL: <https://www.mk.ru/moscow/2019/08/15/v-moskvu-vernulsya-strakh-radiacii-chno-pokazal-dozimetr.html> (дата обращения 03.04.2020)
6. Арутюнян Р. В., Большов Л. А., Боровой А. А., Велихов Е. П. Системный анализ причин и последствий аварии на АЭС «Фукусима-1». — М.: Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. — 2018. — 408 с. URL: <http://www.ibrae.ac.ru/pubtext/268/> (дата обращения 03.04.2020)
7. Арутюнян Р. Ядерная рулетка. Т. 1. Чернобыль — Фукусима: Путевые заметки ликвидатора. — М.: Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. — 2019. — 387 с. URL: <http://www.ibrae.ac.ru/pubtext/289/> (дата обращения 03.04.2020)
8. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Том 1. — Под общей редакцией Е.В. Евстратова, А.М. Агапова, Н.П. Лаверова, Л.А. Большова, И.И. Линге. — 2012. — 356 с. URL: <http://www.ibrae.ac.ru/pubtext/167/> (дата обращения 03.04.2020)
9. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Том 2. Развитие системы обращения с радиоактивными отходами в России. — Под общей редакцией Большова Л.А., Лаверова Н.П., Линге И.И. — 2013. — 392 с. URL: <http://www.ibrae.ac.ru/pubtext/164/> (дата обращения 03.04.2020)
10. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Том 3. Вывод из эксплуатации. — Под общей редакцией Л.А. Большова, Н.П. Лаверова, И.И. Линге. — 2015. — 316 с. URL: <http://www.ibrae.ac.ru/pubtext/250/> (дата обращения 03.04.2020)
11. Гаврилов С.Л., Шикин С.А., Шикин А.В., Долгов В.Н., Арон Д.В., Киселев А.А., Красноперов С.Н., Меркушов В.П., Серебряков Е.Л. Оценка радиационной обстановки, параметров источника и выпадений ¹³⁷Cs при радиационном инциденте в г. Электросталь на основе первичного радиационного обследования и расчетного анализа. //АНПИ. № 1 (96). С. 27–36. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37186231> (дата обращения 13.04.2020)
12. Распоряжение Правительства РФ от 14 сентября 2009 года N 1311-р «Об утверждении перечня организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты» (с изменениями на 30 сентября 2019 года). URL: <https://rulaws.ru/government/Rasporyazhenie-Pravitelstva-RF-ot-14.09.2009-N-1311-r/> (дата обращения 15.04.2020)
13. Закон города Москвы от 05.11.1997 № 46 (в редакции от 25 мая 2016 г.) «О защите населения и территорий города от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера». URL: <https://www.mos.ru/emercod/documents/normativno-pravovye-akty/view/4337220/> (дата обращения 03.04.2020)
14. Структура ГО и РСЧС Российской Федерации. URL: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/1722> (дата обращения 03.04.2020)
15. Проект Постановления Правительства Москвы «О городской целевой программе «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности города Москвы на годы». URL: <https://pandia.ru/text/78/127/36412-2.php> (дата обращения 03.04.2020)
16. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2018 г. (Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). — М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. — 2019. — 130 с.
17. Единая государственная автоматизированная система мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации. Цели, задачи, структура. URL: <http://egasmro.ru/ru/about> (дата обращения 03.04.2020)

18. Ежегодник «Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2017 году». – Обнинск: ФГБУ «НПО «Гайфун». – 2018. —376 с. URL: http://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/1c9/ezhegodnik_ro_2017.pdf (дата обращения 03.04.2020)
19. Цейтин К., Пташкин А. Радиоэкологический мониторинг Московского региона. – В сб. Охрана окружающей среды и обращение с радиоактивными отходами научно-промышленных центров: Труды Первой научно-практической конференции, 24-26 апреля 2019 г. — Под общей редакцией профессора Е.А. Ваниной. — М.: Изд-во ООО «Все для Вас Подмосковье». — 2019. —116 с. URL: http://www.radon.ru/files/images/nauch_sovet/TRUD_RADON_19_S.pdf (дата обращения 03.04.2020)
20. Онлайн-мониторинг радиационной обстановки. ФГУП «Радон». [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://www.radon.ru/online-map> (дата обращения 03.04.2020)
21. СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902170553> (дата обращения 05.04.2020)
22. СП 2.6.1.2612-10 "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)" .П.5.1.6. — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_103742/4eb2201fd4e8ef81ad55b4efcc399a14a6c08fdc/ (дата обращения 03.04.2020)
23. Мониторинг, обследование и контроль. ФГУП «Радон». URL: http://www.radon.ru/line_activity/monitoring/ (дата обращения 03.04.2020)
24. Тер-Мартirosова Е. Владимир Сафронов, МосНПО "Радон": "Дезактивационные работы при выводе из эксплуатации". Интервью. 12.декабря 2011. URL: <https://www.atomic-energy.ru/interviews/2011/12/12/29391> (дата обращения 03.04.2020)
25. Система ликвидации участков радиоактивного загрязнения. 26 ноября 2009. URL: <https://www.atomic-energy.ru/articles/2009/11/26/6206> (дата обращения 03.04.2020)
26. Охрименко С.Е., Алехнович А.В., Аكوпова Н.А., Ермолина Е.П., Перцов В.А., Дружинина Ю.В., Ванина Е.А. Техногенное радиоактивное загрязнение территории города Москвы. – В сб. Охрана окружающей среды и обращение с радиоактивными отходами научно-промышленных центров: Труды Первой научно-практической конференции, 24-26 апреля 2019 г. / Под общей редакцией профессора Е.А. Ваниной. — М.: Изд-во ООО «Все для Вас Подмосковье» 2019. – 116 с. (С. 85-91). URL: http://www.radon.ru/files/images/nauch_sovet/TRUD_RADON_19_S.pdf (дата обращения 03.04.2020)
27. Регламент на работы по транспортированию РАО, переработке и кондиционированию РАО, обеспечению безопасного промежуточного (технологического) хранения РАО, радиационно-аварийным работам по дезактивации выявленных участков радиоактивного загрязнения, радиационному обследованию объектов, радиационно-экологическому мониторингу города Москвы, проводимые ГУП МосНПО "Радон". Приложение 2 к распоряжению Департамента жилищно-коммунального хозяйства и благоустройства города Москвы от 9 сентября 2010 года N 05-14-325/0. URL: <http://docs.cntd.ru/document/537949353> (дата обращения 03.04.2020)
28. Ишханов Б. С. История атомного ядра. Учебное пособие для вузов по специальности 010701 "Физика". — М.: Университетская книга. — 2011. — 313 с. URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/histan/index.html> (дата обращения 03.04.2020)
29. Заключение аналитической группы РНКРЗ по оценке необходимости корректировки действующих Норм радиационной безопасности НРБ-99. // Радиация и риск. —2007. Том.16. №2-4. — С.5-8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zaklyuchenie-analiticheskoy-gruppy-rnkrz-po-otsenke-neobhodimosti-korrektirovki-deystvuyuschih-norm-radiatsionnoy-bezopasnosti-nrb-99> (дата обращения 03.04.2020)
30. Практические рекомендации по вопросам оценки радиационного воздействия на человека и биоту. — Под общей редакцией Линге И.И. и Крышева И.И. — М.: Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (ИБРАЭ РАН). — 2015 г. — 265 с. URL: <http://www.ibrae.ac.ru/pubtext/107/> (дата обращения 03.04.2020)
31. Панов А.В., Санжарова Н.И., Перволоцкий А.Н., Перволоцкая Т.В., Наумов В.С. Анализ национальной системы нормативного и правового обеспечения радиационной безопасности населения и охраны окружающей среды вблизи объектов и территорий, загрязнённых техногенными и природными радионуклидами в результате прошлой деятельности.// Радиация и риск.— 2017. Том 26. № 2. — С.107–121. DOI: 10.21870/0131-3878-2017-26-2-107-121
32. Федеральный закон от 06.10.2003 № 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации». Статья 2 часть 1 параграф 17. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_44571/ (дата обращения 03.04.2020)
33. Федеральный закон от 21 ноября 1995 г. N 170-ФЗ "Об использовании атомной энергии" (с изменениями и дополнениями). URL: <http://base.garant.ru/10105506/> (дата обращения 03.04.2020)

34. Федеральный закон от 9 января 1996 г. N 3-ФЗ "О радиационной безопасности населения" (с изменениями и дополнениями). URL: <http://base.garant.ru/10108778/> (дата обращения 03.04.2020)
35. Положение о Департаменте жилищно-коммунального хозяйства города Москвы. URL: <https://www.mos.ru/dgkh/function/o-departamente/polozhenie-o-departamente/> (дата обращения 03.04.2020)
36. Распоряжение Правительства Москвы от 9 сентября 2010 года N 05-14-325/0 «Об утверждении регламентов на отдельные виды работ» (с изменениями на 22 июня 2018 года). URL: <http://docs.cntd.ru/document/537949353> (дата обращения 03.04.2020)
37. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ). Пер. с англ. —/Под общей ред. М.Ф. Киселёва и Н.К. Шандалы. —М.: Изд. ООПДФ «Алана»,— 2009. URL: https://www.icrp.org/docs/P103_Russian.pdf (дата обращения 03.04.2020)
38. K-W. Cho, M-C. Cantone, C. Kurihara-Saio, B. Le Guen, N. Martinez, D. Oughton, T. Schneider, R. Toohy, F. Zölzer. ICRP Publication 138: Ethical foundations of the system of radiological protection.. // Ann. ICRP. 2018. Vol. 47 (1), P. 1-65. URL: <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20138> (дата обращения 26.06.2020)
39. R.H. Clarke and J.Valentin. The History of ICRP and the Evolution of its Policies. ICRP Publication 109. — Elsevier Ltd, 2009. — 69 p. URL: <http://www.icrp.org/docs> (дата обращения 10.04.2020)
40. Постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 года N 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов» (с изменениями на 4 февраля 2015 года). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902376375> (дата обращения 03.04.2020)
41. Федеральный закон от 11.07.2011 N 190-ФЗ (ред. от 02.07.2013) "Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" (с изм. и доп., вступающими в силу с 16.07.2013). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_116552/ (дата обращения 03.04.2020)
42. Гигиенические требования по определению облучения населения за счет природных источников излучения СП 2.6.1.1292-03 (Минздрав России, 2003 г.). URL: <http://docs.cntd.ru/document/901860642> (дата обращения 05.04.2020)
43. Термины и определения. Приложение 8 к ОСПОРБ 99/2010 (справочное). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_103742/755a54a862948f84ca15a016e6370a7f7c42c5f9/ (дата обращения 05.04.2020)
44. Sources and Effects of Ionizing Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2008 Report. (Table 1). Vol. I: Sources. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assambly. URL: https://www.unscear.org/docs/publications/2008/UNSCEAR_2008_GA-Report-CORR.pdf (дата обращения 05.04.2020)
45. История. Московский завод полиметаллов. URL: http://mzp.ru/?page_id=50 (дата обращения 05.04.2020)
46. Комментарий для СМИ по поводу радиационной обстановки на территории, прилегающей к ОАО «Московский завод полиметаллов». 12 июля 2019. ФГУП «Радон». URL: http://radon.ru/about/press_services/news/9/971.html (дата обращения 05.04.2020)
47. Юго-Восточная хорда: столичные общественники за изменение маршрута. Проект магистрали раскритиковали на общественных слушаниях в ОП РФ. 21 августа, 2019. Онлайн публикация на сайте Общественной палаты РФ. URL: <https://www.oprf.ru/press/news/2019/newsitem/50399> (дата обращения 05.04.2020)
48. Участники круглого стола потребовали приостановить строительство Юго-Восточной хорды и провести повторные публичные слушания. 21 ноября 2019. Московская городская Дума. URL: <https://duma.mos.ru/ru/0/news/novosti-fraktsiy-uchastniki-kruglogo-stola-potrebovali-priostanovit-stroitelstvo-yugo-vostochnoy-hordyi-i-provesti-povtornyie-publichnyie-slushaniya> (дата обращения 05.04.2020)
49. С. Собянин. Юго-Восточная хорда. Решение экологических проблем. URL: <https://echo.msk.ru/blog/ssobyanin/2576171-echo/> (дата обращения 05.04.2020)
50. А. Жвик. Собянин хочет приуменьшить проблему радиации». Физик-ядерщик — о рекультивации склона у Юго-Восточной хорды. 24 января 2020. URL: <https://takiedela.ru/news/2020/01/24/ozharovskiy/> (дата обращения 05.04.2020)
51. Н. Телегина. Москва решила сэкономить при ликвидации ядерного могильника возле хорды: вывезут меньше сотой части отходов. 07 февраля 2020. URL: <https://openmedia.io/news/n3/moskva-reshila->

- [sekonomit-pri-likvidacii-yadernogo-mogilnika-voze-xordy-vyvezut-menshe-sotoj-chasti-otxodov/](#) (дата обращения 05.04.2020)
52. Greenpeace нашёл радиоактивное загрязнение непосредственно на маршруте Юго-Восточной хорды. 21 октября 2019. URL: <https://greenpeace.ru/news/2019/10/21/greenpeace-nashjol-radioaktivnoe-zagryaznenie-neposredstvenno-na-marshrute-jugo-vostochnoj-hordy/> (дата обращения 05.04.2020)
 53. Электронный аукцион 44-ФЗ № 0173200001420000012. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/common-info.html?regNumber=0173200001420000012#> (дата обращения 05.04.2020)
 54. "Радон" вывезет радиоактивные отходы с места строительства Юго-Восточной хорды. 13 февраля 2020. URL: <https://www.interfax.ru/russia/695155> (дата обращения 05.04.2020)
 55. Из официального письма первого заместителя генерального директора ФГУП «Радон» Макарова Е.П. заместителю директора ИБРАЭ РАН Линге И.И. от 19.02.2020. [Архив ИБРАЭ РАН]
 56. Радиоактивный могильник в Москве. Разгон протеста. 20 марта 2020. URL: <https://zona.media/chronicle/horda> (дата обращения 05.04.2020)
 57. А. Дергачева. В Москве начали стройку возле ядерного могильника. Радиация может отравить город. 09 июля 2019. URL: <https://www.the-village.ru/village/city/situation/355745-radiatsiya> (дата обращения 05.04.2020)
 58. МУ 2.6.1.2398-08. Методические указания «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности» 2008. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200069978> (дата обращения 05.04.2020)
 59. МУ 2.6.1.016-2000. Методические указания «Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в контролируемых условиях обращения с источниками излучения. Общие требования». 2000. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293836/4293836386.pdf> (дата обращения 05.04.2020)
 60. Временные критерии для организации контроля и принятия решений "Ограничение облучения населения от природных источников ионизирующего излучения". Утверждены Главным Государственным санитарным врачом СССР 10 июня 1991 г. №5789-91. URL: <http://www.alppp.ru/law/bezopasnost-i-ohrana-pravoporjadka/77/ogranichenie-oblucheniya-naseleniya-ot-prirodnih-istochnikov-ioniziruyuschego-izlucheniya.html> (дата обращения 05.04.2020)
 61. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 26 апреля 2010 г. N 40 "Об утверждении СП 2.6.1.2612-10 "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010)" (с изменениями и дополнениями). URL: <http://base.garant.ru/12177986/> (дата обращения 05.04.2020)
 62. Gamma-Ray Attenuation Coefficients and Buildup Factors for Engineering Materials. American National Standard. ANSI/ANS-6.4.3-1991. American Nuclear Society. USA. — 1992.— 112p.
 63. Нострадамус. Компьютерная система прогнозирования и анализа радиационной обстановки на ранней стадии аварии на АЭС. Инструкция пользователя. – М.: ИБРАЭ РАН. Инв. №3429. 2001
 64. GISMETEO [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gismeteo.ru/diary/4368/> (дата обращения 20.02.2020)
 65. Lettau K., Lettau H. Bulk transport of sand by the barchans of the Pampa de La Joya in Southern Peru Zeitschrift für Geomorphologie – N F– 13– 182-95, 1969.
 66. Махонько К.П. Ветровой подъем радиоактивной пыли с земли. – Обнинск: НПО «Тайфун». — 2008. – 427 с.
 67. Kok J.K., Parteli E. J. R, Michaels T. I. and Bou Karam D. The physics of wind-blown sand and dust. // Rep. Prog. Phys. — 2012. №75. 106901 URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1201/1201.4353.pdf>
 68. Harmonized World Soil Database (HWSD v 1.21. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/water/HWSD.html> (дата обращения 20.02.2020)
 69. Harmonized World Soil Database v 1.2.. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en/>(дата обращения 20.02.2020)
 70. [High resolution map.](#) . [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/resources.get?id=14116&fname=SoilMap_hires.zip&access=private (дата обращения 20.02.2020)
 71. СП 2.6.6.2572-2010. Обеспечение радиационной безопасности при обращении с промышленными отходами атомных станций, содержащими техногенные радионуклиды. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902199394> (дата обращения 05.04.2020)

72. Руководство по безопасности. «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ». Серия 27. Выпуск 11. — М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», —2015. — 130 с.
73. Gismeteo [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL:<https://www.gismeteo.ru/diary/> (дата обращения 01.02.2020)
74. Охрименко С.Е. Научное обоснование обеспечения радиационной безопасности населения города Москвы при воздействии природных и техногенных источников ионизирующих излучений. – Автореф. дис. к.м.н. – М.2017. – 200 с. URL: <https://www.dissercat.com/content/nauchnoe-obosnovanie-obespecheniya-radiatsionnoi-bezopasnosti-naseleniya-goroda-moskvy-pri> (дата обращения 15.04.2020)
75. Семенов С.Г. «Методология вывода из эксплуатации исследовательских ядерных установок - разработка и практическое применение». Автореф. дис. д. т. н. вывод из эксплуатации. — М. 2018. URL: <http://www.nrcki.ru/product/press-nrcki/press-nrcki--38530.shtml> (дата обращения 05.04.2020)
76. Во всем мире 9 человек из 10 дышат загрязненным воздухом. Информационный выпуск ВОЗ от 2 мая 2018 г. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action> (дата обращения 05.04.2020)
77. Бурима Л.Я. Окружающая среда и здоровье населения. // Вестник Прикамского социального института. – 2019. №1 (82). – С.91-99. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/okruzhayuschaya-sreda-i-zdorovie-naseleniya> (дата обращения 05.04.2020)
78. Воздействие взвешенных частиц на здоровье. Значение для разработки политики в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии. Всемирная организация здравоохранения. 2013 г.. URL: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0007/189052/Health-effects-of-particulate-matter-final-Rus.pdf?ua=1 (дата обращения 05.04.2020)
79. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Алексеев В.Б., Щербина С.Г. Цитогенетические маркеры и гигиенические критерии оценки хромосомных нарушений у населения и работников в условиях воздействия химических факторов с мутагенной активностью (на примере металлов, ароматических углеводородов, формальдегида). – Пермь: Книжный формат. — 2013. – 222 с. URL: <http://fcrisk.ru/sites/default/files/upload/monograph/772/monograph-perm-2013.pdf> (дата обращения 05.04.2020)
80. Международный эксперт ВОЗ оценил качество воздуха в Москве. 3 февраля 2020. Онлайн публикация на официальном сайте Правительства Москвы . URL: <https://www.mos.ru/news/item/68953073/> (дата обращения 05.04.2020)
81. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2018 году». Под ред. А.О. Кульбачевского. — М.: ДПиООС; НИиПИ ИГСП: ООО «Студио Арроу». —2019. — 247 с. URL: <https://www.mos.ru/eco/documents/doklady/view/227443220/> (дата обращения 05.04.2020)
82. Шелмаков С.В., Трофименко Ю.В., Лобиков А.В. Борьба с загрязнением атмосферы дисперсными частицами на автомобильном транспорте: учеб. Пособие. — М.: МАДИ, 2018. – 164 с. URL: <http://lib.madi.ru/fel/fel1/fel18E484.pdf> (дата обращения 05.04.2020)
83. Качество атмосферного воздуха и здоровье. Основные факты. Информационный бюллетень ВОЗ от 2 мая 2018 г. URL: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (дата обращения 05.04.2020)
84. Ревич Б.А. Мелкодисперсные взвешенные частицы в атмосферном воздухе и их воздействие на здоровье жителей мегаполисов. // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2018. Т. XXIX, № 3, – С.53-78. URL: http://downloads.igce.ru/journals/PEMME/PEMME_2018/PEMME_2018_3/Revich_B_A_PEMME_2018_3.pdf (дата обращения 05.04.2020)
85. Медведева С. А. Экологический риск. Общие понятия, методы оценки // XXI век. Техносферная безопасность. 2016. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskij-risk-obschie-ponyatiya-metody-otsenki> (дата обращения: 15.03.2020)
86. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. — М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора России. — 2004. —143 с. URL: <http://base.garant.ru/4181873/#friends> (дата обращения 05.04.2020)
87. Арутюнян Р.В., Грачёв В.А. Риск-ориентированный подход к анализу безопасного проживания вблизи объектов атомной энергетики. Обзор. // Радиация и риск. — 2018. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/risk-orientirovannyy-podhod-k-analizu-bezopasnogo-prozhivaniya-vblizi-obektov-atomnoy-energetiki-obzor> (дата обращения: 15.03.2020)
88. Панченко С.В., Аракелян А.А., Ведерникова М.В., Поцяпун Н.П., Каргин О.А., Сикора О.Н., Степанова У.Г. Сравнительная оценка радиационных и токсических рисков в Ангарске. // Радиация и риск. – 2017. Том 26. № 2. – С.93-96. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitel'naya-otsenka-radiatsionnyh-i-toksicheskikh-riskov-v-angarske> (дата обращения 05.04.2020)

89. Платонов К. А. Восприятие экологических рисков: экспертные оценки и общественное мнение. // Вестник СПбГУ. Сер. 12. — 2016. Вып. 1. — С. 102–110. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vospriyatie-ekologicheskikh-riskov-ekspertnye-otsenki-i-obschestvennoe-mnenie> (дата обращения 05.04.2020)
90. Арутюнян Р.В., Большов Л.А., Линге И.И., Мелихова Е.М., Панченко С.В. Уроки Чернобыля и Фукусимы и актуальные проблемы совершенствования системы защиты населения и территорий при авариях на АЭС. // Медицинская радиология и радиационная безопасность. — 2016. №3. — С.36-51
91. Радиоэкологическая обстановка в регионах расположения предприятий Росатома.// Под общей редакцией Линге И.И. и Крышева И.И. — М.: «САМ полиграфист». — 2015. — 296 с. URL: <http://www.ibrae.ac.ru/pubtext/252/> (дата обращения 05.04.2020)
92. Мелихова Е.М. Социальные последствия тяжелой аварии на АЭС Три-Майл-Айленд и особое восприятие радиационного риска. Препринт ИБРАЭ № ИБРАЭ-2017-10. — М.: Ин-т проблем безопасности развития атомной энергетики Российской академии наук (ИБРАЭ РАН). — 2017. — 32 с.
93. Мелихова Е.М., Абалкина И.Л. Анализ проблем коммуникации радиационного риска в контексте развития общественного диалога. // Медицинская радиология и радиационная безопасность. — 2020. №2 (в печати)
94. Власти Москвы: радиоактивных отходов нет в зоне строительства Юго-Восточной хорды 23 октября 2019. URL: <https://tass.ru/obschestvo/7035354>; (дата обращения 06.04.2020)
95. Власти Москвы не нашли проблем с радиацией в зоне строительства Юго-Восточной хорды. 18 октября 2019. URL: <https://www.interfax.ru/moscow/680897> (дата обращения 06.04.2020)
96. Хуснуллин заверил, что Юго-Восточную хорду не проложат по радиоактивным отходам. 23 октября 2019. URL: <https://www.interfax.ru/business/681472> (дата обращения 06.04.2020)
97. Ш. Шолль. Скандал в зоне отчуждения: власти не признают наличие радиации на юге Москвы. URL:<http://antirokada.ru/publikatsii/127-skandal-v-zone-otchuzhdeniya-vlasti-ne-priznayut-nalichie-radiatsii-na-yuge-moskvy> (дата обращения 06.04.2020)
98. И. Кондратьев. Радиация и экология. URL: <http://antirokada.ru/ekologiya-i-radiatsiya> (дата обращения 06.04.2020)
99. На поверхности ядерного могильника в Москве нашли радиоактивный грунт. URL: <https://regnum.ru/news/society/2698087.html> (дата обращения 06.04.2020)
100. Если копнуть поглубже... Насколько опасно строить автомагистраль на юге Москвы поверх могильника радиоактивных отходов? // Новая газета. № 79 от 22 июля 2019. URL: <https://novayagazeta.ru/articles/2019/07/13/81228-esli-kopnut-poglubzhe> (дата обращения 06.04.2020)
101. Юсупов Д. Игнорирование радиации, безразличие к собственным сотрудникам и стройка вместо рекультивации. Как «Радон» справляется с ликвидацией РАО у МЗП. 25.03.2020. URL: <https://moskva.ru/2020/03/25/115250.html>. (дата обращения 06.04.2020)
102. В.А. Осминов. Особенности радиационного контроля земляных работ в условиях плотной застройки. // Безопасность окружающей среды. — 2009. №3. — С.54–58. URL:http://radon.ru/MAGAZINE/03_2009/bos_03-2009-54.pdf (дата обращения 13.04.2020)
103. О. Вахоничева. Блуждающая радиация: застройка свалки пугает москвичей. 21 ноября 2008. URL: <https://www.svoboda.org/a/474037.html> (дата обращения 14.04.2020)