

УСИЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ
на испытательной площадке «Опытное поле»
Семипалатинского испытательного полигона

Батырбеков Э. Г., Березин С. А.,
Айдарханов А. О., Осинцев А. Ю.,
Мустафина Е. В.



Батырбеков Э. Г., Березин С. А.,
Айдарханов А. О., Осинцев А. Ю., Мустафина Е. В.

УСИЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ

на испытательной площадке «Опытное поле»
Семипалатинского испытательного полигона



г. Курчатов, 2021 г.

**УСИЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ
НА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ
«ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»
СЕМИПАЛАТИНСКОГО
ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА**

**Батырбеков Э. Г., Березин С. А., Айдарханов А. О.,
Осинцев А. Ю., Мустафина Е. В.**

г. Курчатова, 2021 г.

УДК 502/504 (035.3)

ББК 20.18

У-74

У-74 Батырбеков Э. Г., Березин С. А., Айдарханов А. О., Осинцев А. Ю., Мустафина Е. В. Усиление безопасности на испытательной площадке «Опытное поле» Семипалатинского испытательного полигона. – Курчатов: Национальный ядерный центр Республики Казахстан, 2021. – 264 стр.

ISBN 978-601-7972-63-9

В монографии представлен комплекс исследовательских и инженерно-технических работ по усилению безопасности на испытательной площадке «Опытное поле» Семипалатинского испытательного полигона. Данные работы позволили впервые в истории изучения территории полигона наиболее полно и комплексно исследовать территорию отдельной испытательной площадки. Масштаб работ по приведению в безопасное состояние объектов на площадке «Опытное поле» превышает объем отдельных видов работ, проведенных ранее на любых других площадках полигона.

Впервые были проведены работы по изъятию грунта, содержащего отходы ядерной деятельности, его переработки и размещению на долговременное хранение в специально подготовленных хранилищах твердых радиоактивных отходов. На объектах, где из соображений безопасности персонала рекультивационные работы были невозможны, обеспечение безопасности было достигнуто посредством строительства специальных защитных сооружений. Для обеспечения дополнительной защиты, специалистами НЯЦ РК был проведен комплекс работ по созданию многоуровневых систем безопасности на площадке «Опытное поле». Таким образом, в настоящее время территория площадки «Опытное поле» приведена в безопасное состояние, надежно охраняется и не представляет угрозы.

ISBN 978-601-7972-63-9

УДК 502/504 (035.3)

ББК 20.18

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»	7
1.1. Описание площадки «Опытное поле»	7
1.2. Ядерные испытания	22
1.3. Гидроядерные и гидродинамические эксперименты	30
Глава 2. ВЫЯВЛЕНИЕ ОЯД НА ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»	37
2.1. Методология обследования	37
2.1.1. Методология проведения работ по первому этапу.....	38
2.1.2. Методология проведения работ по выявлению объектов, содержащих ОЯД выше установленных критериев.....	47
2.2. Результаты обследования	60
2.2.1. Техническая площадка П-1.....	63
2.2.2. Техническая площадка П-2, П-7.....	66
2.2.3. Техническая площадка П-3, П-5.....	69
2.2.4. Техническая площадка П-2М.....	81
2.2.5. Объекты вне технических площадок.....	138
2.2.6. Объекты, содержащие ОЯД.....	154
2.3. Классификация ядерно- и радиационно-опасных объектов	154
Глава 3. УСИЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»	157
3.1. Усиление безопасности на технической площадке П-2, П-7 ...157	
3.1.1. Технические решения и методика проведения работ.....	157
3.1.2. Результат проведения работ.....	164
3.2. Усиление безопасности на технической площадке П-3 ...167	
3.2.1. Технические решения и методика проведения работ.....	167

3.2.2. Результат проведения работ.....	168
3.3. Усиление безопасности на технической площадке П-5	169
3.3.1. Технические решения и методика проведения работ.....	170
3.3.1 Результат проведения работ.....	186
3.4. Усиление безопасности на технической площадке П-2М	187
3.4.1. Технические решения и методика проведения работ.....	189
3.4.2. Результат проведения работ.....	209
3.5. Усиление безопасности на объектах М-3, М-4	211
3.5.1. Технические решения и методика проведения работ.....	213
3.5.2. Результат проведения работ.....	216
3.6. Обеспечение безопасности проведения работ	218
3.6.1. Радиоэкологическое сопровождение работ.....	218
3.6.2. Обеспечение безопасности и охраны труда, промышленной, пожарной безопасности, охраны окружающей среды, электро-безопасности.....	223
Глава 4. СОЗДАНИЕ СИСТЕМ	
МНОГОУРОВНЕВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	227
4.1. Установка 3-х уровневой системы безопасности	227
4.1.1. Технические решения систем безопасности.....	228
4.1.2. Результат проведения работ.....	242
4.2. Контроль целостности состояния объектов	242
4.2.1. Методология контроля.....	243
4.2.2. Результат проведения работ.....	247
Глава 5. ЗНАКОВЫЕ ВИЗИТЫ В ПЕРИОД РАБОТ	
ПО УСИЛЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ	250
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	259

ВВЕДЕНИЕ

Широкомасштабная деятельность по ликвидации инфраструктуры и последствий испытаний ядерного оружия на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП) началась в 1993 году в рамках реализации международных договоров по обеспечению ядерной безопасности ратифицированных Республикой Казахстан:

- Соглашение между Соединёнными Штатами Америки и Республикой Казахстан об уничтожении шахтных пусковых установок межконтинентальных баллистических ракет, ликвидации последствий аварийных ситуаций и предотвращения распространения ядерного оружия от 13 декабря 1993 года, с учетом поправок и продлений (Рамочное соглашение между США и Казахстаном);

- Соглашение между Министерством обороны Соединенных Штатов Америки и Министерством энергетики Республики Казахстан относительно ликвидации инфраструктуры оружия массового уничтожения от 3 октября 1995 года с соответствующими поправками (Исполнительное соглашение – США-Казахстан).

Департамент Обороны США назначил Оборонное Ядерное Агентство (ныне Оборонное Агентство по сокращению Угрозы (АПУУ)) исполнительным агентом по реализации данного соглашения с американской стороны. Министерство науки и новых технологий Республики Казахстан (ныне Министерство энергетики РК) постановлением Правительства Республики Казахстан от 13 августа 1996 года N 1002 «О дополнительных мерах по обеспечению деятельности Национального ядерного центра Республики Казахстан, а также ядерной радиационной безопасности на его объектах», определило Национальный ядерный центр РК в качестве головной организации проведения работ по ликвидации инфраструктуры ядерного оружия на бывшем Семипалатинском испытательном полигоне.

С момента назначения, в рамках данного соглашения, НЯЦ РК решает вопросы, связанные с обеспечением безопасности объектов и участков на территории СИП. Проведение данных работ позволило снизить или полностью исключить риски распространения отходов ядерной деятельности (ОЯД) с территории СИП.

Данные работы реализовывались поэтапно и включали:

1. Ликвидацию неиспользованных скважин и шахтных пусковых установок на площадке «Балапан» (1995 -1997 гг.).
2. Закрытие всех штолен на площадке «Дегелен» (1995-1999 гг.).
3. Усиление защиты объектов на площадке «Актан-Берли» и РБШ (1999-2004 гг.).

4. Усиление защиты ряда объектов на площадке «Дегелен» (2005-2012 гг.).

Подробно данные работы представлены в монографии «Проведение комплекса научно-технических и инженерных работ по приведению бывшего Семипалатинского испытательного полигона в безопасное состояние...» [1].

В 2012 году НЯЦ РК начал новый большой этап работ, связанный со снижением риска распространения ОЯД на территории испытательной площадки «Опытное поле».

Анализ имеющихся архивных и литературных материалов, а также результаты ряда локальных радиационных исследований показывали, что на территории площадки могут находиться объекты и участки, содержащие ОЯД в количествах, представляющих риски по критерию нераспространения оружия массового уничтожения (ОМУ).

На основании имеющихся данных была достигнута договоренность с АПУУ о проведении крупномасштабного детального обследования всей площадки, что послужило началом нового этапа работ, реализация которого была завершена только в 2020 году.

Данные работы позволили впервые в истории изучения территории СИП наиболее полно и комплексно исследовать территорию площадки «Опытное поле». За период более 6 лет методом пешеходной гамма-спектрометрической съемки пройдено более 20 000 погонных километров, проведено несколько миллионов спектрометрических измерений, отобраны и измерены десятки тысяч проб грунта.

Масштаб работ по приведению в безопасное состояние объектов на площадке «Опытное поле» превышает объем отдельных видов работ, проведенных ранее на площадках «Дегелен» и «Актан-Берли». Впервые были проведены работы по изъятию грунта, содержащего ОЯД, его переработки и размещению на долговременное хранение в специально подготовленных хранилищах твердых радиоактивных отходов. Все ОЯД, размещенные на долговременное хранение, задекларированы и поставлены под гарантии МАГАТЭ.

Наряду с вышесказанным, для обеспечения дополнительной защиты, специалистами НЯЦ РК был проведен комплекс работ по созданию многоуровневых систем безопасности всех объектов, содержащих ОЯД на площадке «Опытное поле». Системы создавались по принципу многоуровневой, «глубоко эшелонированной защиты», с учетом предыдущего опыта создания и эксплуатации систем безопасности на других объектах СИП, в частности объекта «Дегелен».

ГЛАВА 1. ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»

1.1. Описание площадки «Опытное поле»

При выборе места для строительства испытательного полигона руководствовались поиском малозаселенной обширной территории, но имеющей необходимые транспортные артерии, а также возможность возведения на ней местной взлетно-посадочной полосы для приема транспортных самолетов. Согласно предварительным расчетам, диаметр территории, необходимый для создания полигона, должен был составлять не менее 200 км. Под предъявляемые требования подходили несколько площадок: площадка в районе р. Иртыш, площадка в районе западного берега оз. Балхаш, площадка в районе станции Атбасар (Казахская ССР), площадка южнее г. Кустанай в районе Наурзумского заповедника, площадка южнее оз. Гусиное в Забайкалье, а также площадка в районе пяти озер, севернее г. Чита.

В мае 1947 года на заседании Специального комитета под председательством Л.П. Берия представлена докладная записка, подписанная А.П. Завенягиным, М.П. Воробьевым, М.А. Садовским, А.П. Александровым и П.М. Рожановичем о рассмотрении потенциальных вариантов размещения полигона. В представленной записке говорилось «...Из всех перечисленных площадок наиболее удовлетворяет требованиям для организации Горной станции площадка № 1 в районе р. Иртыш в 170 км западнее г. Семипалатинск. Эта площадка совершенно пустынная, центр площадки диаметром 20 км, окружен грядой холмов до 40 м и выше. Площадка имеет хорошие естественные грунтовые дороги и вполне обеспечена водой. На самой площадке имеется естественный аэродром, пригодный для эксплуатации транспортной авиации и средних бомбардировщиков. Для эксплуатации тяжелых бомбардировщиков возможно использование существующего аэродрома гражданского воздушного флота, удаленного от г. Семипалатинск на 6 км. К недостаткам этой площадки относятся удаленность ее на 170 км от железной дороги и наличие в г. Семипалатинск китайского консульства, которое, по нашему мнению, должно быть оттуда удалено. Просим утвердить для строительства Горной станции площадку № 1 в районе Иртыша» [1, 3].

В представленной докладной записке полигон называется Горной сейсмической станцией. Данное название использовалось до 21.08.1947 г.,

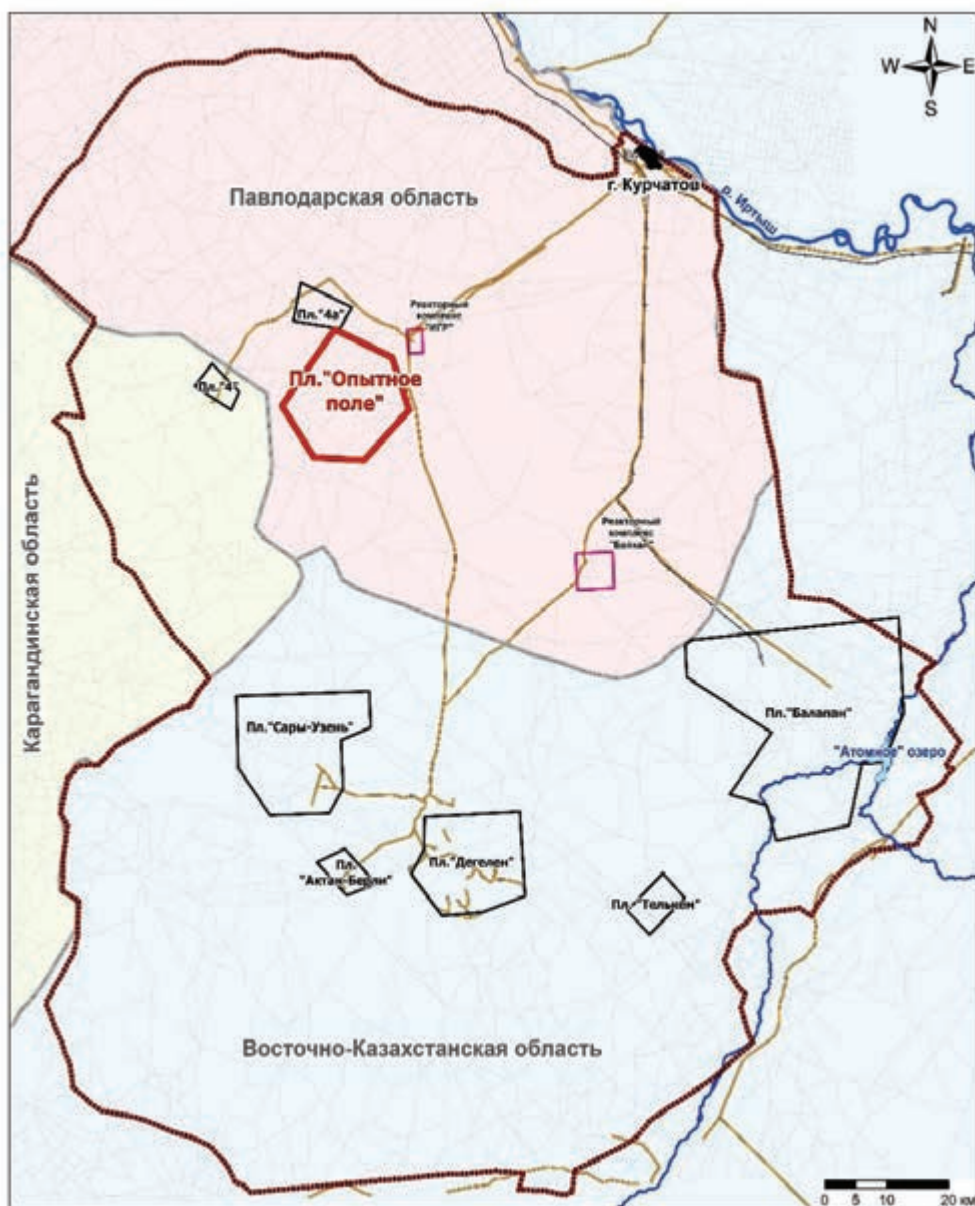
когда полигон постановлением ЦК ВКП(б), был передан в ведомство МО СССР и стал именоваться «Объект-905». В 1948 г. полигон был переименован в «Учебный полигон № 2 МВС СССР», условное название – войсковая часть 52605 [4]. 12.05.1970 г. полигон вновь изменил свое название и стал называться Центральным научно-исследовательским испытательным полигоном № 2 (ГосЦНИИП-2) и просуществовал в данном статусе до момента закрытия 29.08.1991 г. [1, 3]. В настоящее время во всем мире широко распространилось другое название полигона – Семипалатинский испытательный полигон (далее – СИП).

Первой испытательной площадкой Семипалатинского испытательного полигона являлось «Опытное поле» [1, 5]. Площадка использовалась для проведения атмосферных (воздушных и наземных) ядерных испытаний. В основном ядерные испытания проводились в рамках совершенствования ядерного оружия, исследований аварийных режимов работы ядерного оружия, а также исследований поражающих факторов ядерного оружия. Начиная с 1947 г. на территории полигона велись работы по подготовке к испытаниям. Одновременно с подготовкой объектов и инженерных сооружений к проведению ядерных испытаний в 1949 г. началось строительство штабного городка (в настоящее время г. Курчатова).

Административное и географическое расположение испытательной площадки «Опытное поле»

География. Площадка «Опытное поле» располагается в левобережье р. Иртыш на территории Павлодарской области (Рисунок 1.1). «Опытное поле» представляет собой равнину диаметром ~ 20 км, окруженную на востоке, юге и западе небольшими холмами (сопками) [1, 6]. Площадь в современных границах составляет ~ 270 км², а периметр ~ 62 км. Площадка расположена на расстоянии 60 км от г. Курчатова и ~ 170 км от г. Семей (бывший г. Семипалатинск). Город Курчатова расположен от г. Семей в 120 км вниз по течению р. Иртыш и связан с ним железной и автомобильной дорогами.

Климат. На территории испытательной площадки «Опытное поле» климат теплый, влажный, континентальный (резко-континентальный). Зима холодная и продолжительная. Самый холодный месяц – январь, со среднемесячной температурой воздуха -12 ÷ -17 °С, в некоторых местах -23 ÷ -27 °С. Температура самого теплого месяца, июля 15 ÷ 24 °С. Минимальные температуры воздуха зимой достигают -20 ÷ -32 °С, а абсолютный минимум в отдельные зимы достигает -51 ÷ -54 °С. Абсолютная максимальная температура воздуха достигает 35 ÷ 45 °С. Местные усло-



Условные обозначения









- | | | |
|---|---|---|
|  граница площадки «Опытное поле» |  граница СИП |  железная дорога |
|  границы испытательных площадок |  реакторный комплекс |  озеро |
| |  дороги |  реки |

Рисунок 1.1. Карта-схема Семипалатинского испытательного полигона

вия определяют неустойчивый характер выпадения осадков, колебания их из года в год значительно. Среднее многолетнее месячное количество атмосферных осадков варьирует от 9,4 до 36,7 мм. Максимум атмосферных осадков выпадает в мае – августе и октябре – ноябре. На территории испытательной площадки отмечается частая смена направления и скорости ветра. Средние скорости ветра равны 2-5 м/с. В среднем за год на большей части территории площадки преобладают ветра юго-восточных и южных направлений. Ветровые условия весны и осени являются промежуточными между зимними и летними, что связано со сменой холодного и теплого полугодий.

Водные объекты. В основном водные объекты площадки «Опытное поле» – это воронки, образованные в результате проведения наземных ядерных и неядерных испытаний, заполненные грунтовыми водами. Их диаметр варьирует от 10 м до 150 м. «Опытное поле» расположено в восточной части Казахского мелкосопочника в условиях засушливого климата (аридная зона). Среди мелкосопочника отмечаются долинообразующие понижения, для которых характерны озера, зависящие от уровня осадков, и большую часть летнего периода находящихся в пересохшем состоянии. Эти озера представляют собой мелкие блюдцеобразные котловины, заполненные горько-соленой водой. Несколько подобных объектов расположены на территории площадки «Опытное поле». Наиболее крупным из них является соленое бессточное оз. Жаксытуз, расположенное вблизи юго-восточной границы испытательной площадки.

Гидрология. Испытательная площадка «Опытное поле» расположена на северном склоне Балхаш-Иртышского водораздела и имеет общий уклон на северо-восток к долине р. Иртыш. Подземные воды представлены двумя типами вод: поровыми и трещинноватыми. Поровые воды имеют спорадическое распространение и вскрываются на глубинах от 0,8 до 12,7 м. Трещинные подземные воды связаны с зоной открытой (активной) трещиноватости, глубина распространения которой колеблется от 40 до 60 м. В зонах тектонических нарушений она может достигать глубины 100 м и более. В основном питание подземных вод осуществляется за счёт инфильтрации атмосферных осадков, частичного поглощения паводкового стока в руслах временных водотоков. Движение фильтрационного потока подземных вод характеризуется северо-восточным направлением.

Тектоника. «Опытное поле» находится в зоне соединения поздних каледонид Чингиз-Тарбагатайского мегантиклинория и герцинид Иртыш-Зайсанского мегасинклинория, граница между которыми проходит

по глубинному Калба-Чингизскому разлому. Данный разлом проходит через западную часть испытательной площадки в южном направлении. Юго-западная часть площадки относится к поздним каледонидам, а ее центральная и северо-восточная части – к герцинидам Жарминской зоны, являющейся краевой частью Иртыш-Зайсанского мегасинклинория. В геологическом строении территории площадки участвуют такие образования, как дислоцированные метаморфические, вулканогенно-осадочные отложения, четвертичные, палеогеновые, триасовые и каменноугольные.

Геоморфология. Основным морфообразующим элементом, определяющим общую геоморфологию, является Кулундинская равнина с долиной реки Иртыш, переходящая через денудационную равнину в направлении на юго-запад в Казахский мелкосопочник с холмисто-грядовыми и конусовидными формами рельефа.

Территория площадки «Опытное поле» представлена равнинным ландшафтом сухостепного типа. В ботанико-географическом районировании растительного покрова на территории площадки наблюдаются сухие ксерофитноразнотравно-дерновиннозлаковые степи на светло-каштановых почвах.

Почвы. На территории испытательной площадки распространены зональные каштановые малоразвитые и неполноразвитые почвы, почвообразующими породами которых являются маломощные элювиально-делювиальные щебнистые суглинки, близко подстилаемые рухляком или слабо выветренными породами. Поверхностные горизонты почвы на территории испытательной площадки «Опытное поле» относятся к светло-каштановым, суглинистым, характеризуются слабощелочной реакцией, местами карбонатные, незасоленные. Концентрация гумуса, в среднем, невысока, а так как мощность гумусового горизонта очень мала, то запасы гумуса на единицу площади невелики.

Население. Непосредственно на территории испытательной площадки поселений нет. Ближайшим населенным пунктом является г. Курчатов, расположенный на расстоянии ~ 60 км от площадки «Опытное поле».

Основные этапы строительства и оборудования объектов

Подготовка инфраструктуры. В период проведения испытаний «Опытное поле» представляло собой комплекс различных инженерно-строительных сооружений, предназначенных для проведения испытаний и регистрации параметров различных типов атмосферных испытаний в условиях натурального эксперимента. К работе над проектированием, строительством и оборудованием объектов и площадок будущего полигона привлекались различные специализированные организации,

имеющие штаты высококвалифицированных сотрудников. Так, проектные работы по оборудованию технологических и приборных сооружений, обустройство площадок для размещения животных, строительство дорог, энергетических объектов и системы водоснабжения, а также создание системы энергоснабжения приборных сооружений, лабораторий и жилого городка, необходимых для успешного функционирования полигона, выполнялись по техническим заданиям, разработанным в стенах Института химической физики в специальном проектно-институте Первого главного управления при Совете Народных Комиссаров – ГСПИ-11. Опытные фортификационные сооружения проектировались в специальном проектно-конструкторском бюро инженерных войск, а аэродромные сооружения были сконструированы в Центральном проектно-институте ВВС. С целью централизации и координации строительных работ на территории полигона и обеспечения их всеми необходимыми материалами и оборудованием, на основе пяти управлений военного строительства, двух полков и многих отдельных батальонов и рот инженерных войск, было создано 310-е отдельное управление строительства. Совместными усилиями данных организаций на территории полигона для проведения атмосферных испытаний ядерного оружия были подготовлены следующие объекты [1, 4, 5, 7, 8, 9]:

- «Опытное поле» (площадка «П») – площадка с радиусом 20 км, оборудованная специальными сооружениями, обеспечивающими проведение наземных ядерных испытаний, наблюдение и регистрацию физических измерений. Вокруг площадки располагалась зона безопасности общей площадью ~ 45 тыс. км²;

- площадка КБ-11 (площадка «Н») – производственная площадка со зданиями и сооружениями, предназначенными для сборки атомных бомб перед испытаниями, хранения узлов и деталей атомных бомб, необходимой аппаратуры и оборудования. Здесь же размещался командный пункт (КП);

- штабной городок (штабная, площадка «Ш») – территория на расстоянии 14 км от центра «Опытного поля» в северо-восточном направлении со зданиями, предназначенными для временного размещения штаба войск охраны и энергосилового обеспечения испытательной площадки, выдачи средств индивидуальной защиты, дозиметров, проведения санитарной обработки и дезактивационных работ.

Одновременно было начато строительство следующих объектов [1, 5, 7]:

- площадка «М» – располагалась на расстоянии ~ 60 км в северо-восточном направлении от «Опытного поля» на берегу реки Иртыш, жилой и административный центр полигона, который в последующем стал городом Семипалатинск-21 (в настоящее время – город Курчатова);

- площадка «А» – расположенная на северной окраине жилой зоны площадки «М», территория со зданиями, предназначенными для проживания воинских частей и необходимыми объектами для обеспечения их деятельности;

- площадка «О» – опытно-научная часть полигона (сектор № 5) с лабораторными корпусами, расположенная на выезде из жилой зоны площадки «М» (в настоящее время – филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» НЯЦ РК);

- полевой аэродром – расположен недалеко от площадки «О». Аэродром с грунтовой взлетно-посадочной полосой, используемый для базирования самолетов транспортной авиации и вертолетов.

Таким образом, к августу 1949 г. была создана мощная испытательная база, которая позволяла проводить атмосферные испытания различных типов в условиях натурального эксперимента практически без строительства новых приборных инженерно-строительных сооружений (Рисунок 1.2).

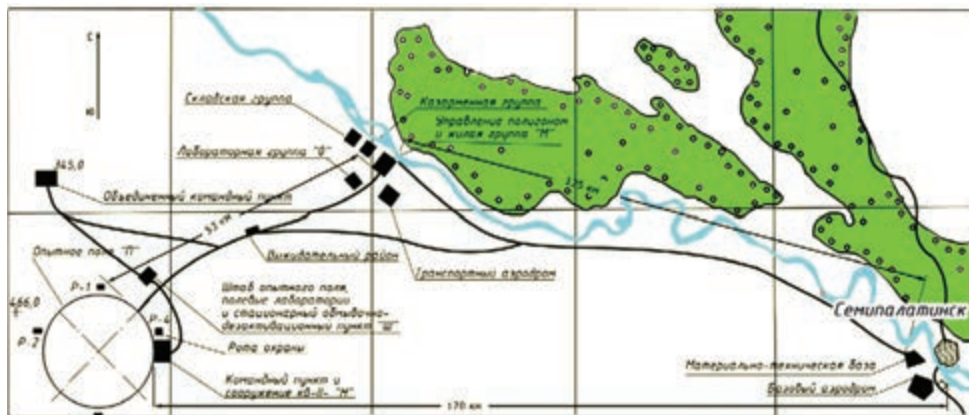
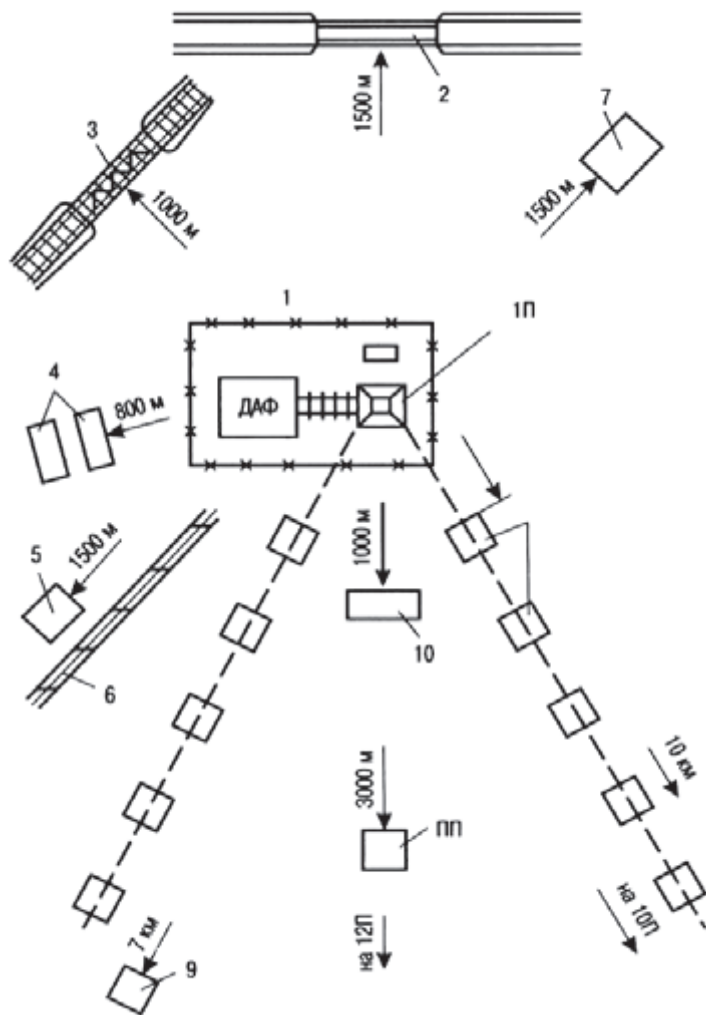


Рисунок 1.2. Схема Семипалатинского испытательного полигона в период проведения первых ядерных испытаний

Перед проведением первого атмосферного ядерного испытания «Опытное поле» было разделено на 14 секторов, в состав которых, в том числе, входили 2 фортификационных и 2 физических сектора, сектор гражданских сооружений и конструкций, сектор с размещенными на различном удалении от центра поля с образцами вооружения и военной

техники и подопытными животными, которые размещались в открытом виде и в укрытиях различного типа (Рисунок 1.3) [5, 7, 10].



1 – металлическая башня в центре площадки для установки ядерного устройства. Рядом с ней располагалось деревянное здание, где размещалось подъемное оборудование, а в 25 м от башни – производственное здание из железобетонных конструкций с мостовым краном в зале для окончательного снаряжения заряда (ДАФ); 2 – отрезок шоссе с железобетонным мостом; 3 – отрезок железной дороги с металлическим мостом; 4 – два трехэтажных дома; 5 – здание электростанции; 6 – линия электропередачи; 7 – кирпично-бетонное здание промышленного типа с мостовым краном; 8 – подземное здание 10П для размещения аппаратуры, регистрирующей световые, нейтронные и гамма-поток ядерного взрыва; 9 – землянка для предварительных взрывов зарядов ВВ; 10 – сектор физических измерений.

Рисунок 1.3. Схема расположения сооружений «Опытного поля» при проведении первого ядерного испытания

Необходимо отметить, что данная схема при проведении трех основных наземных испытаний (29.08.1949 г., 24.09.1951 г., 12.08.1953 г.) несколько изменялась, однако, принципиальных отличий внесено не было [7].

В центре испытательной площадки была смонтирована металлическая башня высотой 37,5 м для установки ядерного устройства.

В секторе гражданских сооружений и конструкций были построены несколько рубленых и сборных деревянных домов, а также 3 кирпичных трехэтажных дома, участки линии электропередачи, отрезки шоссейной и железной дорог с железобетонным и металлическим мостами, участки водопровода и канализации, одно промышленное здание, а также 3 подземные шахты на глубине 10, 20 и 30 м, имитирующие отрезки тоннелей метро, подземное здание для размещения необходимой аппаратуры и др.

В секторе полевой фортификации были оборудованы участки основной позиции главной полосы обороны с несколькими линиями траншей, ходами сообщений, дотами и блиндажами. Здесь же размещались различные виды стрелкового вооружения, минно-взрывные, переправочно-мостовые, электротехнические средства, а также строительные материалы и образцы полевого водоснабжения. В секторе долговременной фортификации было предусмотрено строительство ~ 100 артиллерийских, бронебашенных, пулеметных и наблюдательных сооружений, используемых в укрепленных районах и на линиях обороны. Сооружения должны были иметь вооружение, средства противохимической защиты и связи, а также электросиловое и фильтровентиляционное оборудование.

Для изучения воздействия ядерного взрыва на «Опытном поле» были установлены образцы самолетов различных типов (53 единицы), танков и артиллерийских ракетных установок (32 единицы), а также артиллерия и минометы, надстройки боевых кораблей ВМФ, образцы техники разных видов войск (связи, химических, инженерных, тыловых и т.д.). Для проведения медико-биологических исследований воздействия ядерного взрыва на живые организмы были размещены более 1500 животных, в том числе кролики, овцы и козы, поросята, собаки, морские свинки, белые мыши и крысы. По состоянию военной техники и животных после взрыва можно было сделать вывод о характере воздействия поражающих факторов ядерного взрыва [4, 5, 7].

В двух физических секторах, располагавшихся в северо-восточном и юго-восточном направлениях на различных расстояниях от центра испытательной площадки, были сооружены 2 металлические башни высотой 20 м, 15 железобетонных башен высотой 20 м, 17 железобетонных башен высотой 3 м, 2 подземных каземата, 2 пульта автоматического управления приборами для размещения в них двухсот единиц фотохронографической, кино- и осциллографической аппаратуры, регистрирующей процессы ядерного взрыва. Здесь же размещался командный пункт с программным управлением. Вся аппаратура, размещенная в физических секторах, имела индивидуальное питание и приводилась в действие автоматически. Оптическая и осциллографическая аппаратура управлялась по кабелям с главного программного автомата, который был установлен на командном пункте. Для обеспечения работы физического сектора была заложена кабельная сеть протяженностью 560 км [7, 10].

В командном пункте автоматики 12П были размещены трансформаторная подстанция, аккумуляторные батареи автоматики подрыва заряда, шлейфные осциллографы, программный автомат включения и подрыва заряда, блоки автоматической связи на 100 абонентов, аппарат правительственной ВЧ связи, кабинеты руководителя испытаний и уполномоченного МВД, вспомогательные помещения.

Существовало три вида приборных сооружений («гуси»), которые располагались по двум взаимно перпендикулярным радиусам и обозначались буквами «А» («аннушки»), «Б» («букашки»), «В» («верочки») [1, 5]. «Аннушками» назывались высокопрочные приборные сооружения, размещенные на расстоянии 500-1200 м от центра испытательной площадки. «Букашками» назывались приборные сооружения типа 2ПБ, построенные на расстоянии 1800 м от центра «Опытного поля». «Верочками» назывались сооружения типа 2ПВ, располагавшиеся на расстоянии 3000 м и 5000 м от центра испытательной площадки. Современное состояние приборных сооружений представлено на рисунках (Рисунок 1.4, Рисунок 1.5, Рисунок 1.6, Рисунок 1.7).

Также были возведены одноэтажные наземные железобетонные приборные сооружения 11П-I и 11П-II с плоскими крышами на расстоянии 10 км от центра «Опытного поля» по северо-восточному и юго-восточному радиусам. Сооружения 11П-I и 11П-II также являлись ретрансляционными пунктами приема сигналов дистанционного управления, которые передавались с командного пункта автоматики (12П) [1, 5].



Рисунок 1.4. Современное состояние приборных сооружений «аннушка»



Рисунок 1.5. Современное состояние приборного сооружения «букашка»



Рисунок 1.6. Современное состояние приборных сооружений «верочка»

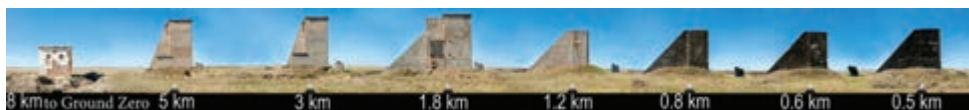


Рисунок 1.7. Современное состояние приборных сооружений юго-восточного направления

Римские цифры I и II в конце официального обозначения каждого сооружения указывали на их географическое положение – северо-восточное (I) или юго-восточное (II). Арабские цифры свидетельствовали о расстоянии в метрах от центра испытательной площадки до данного сооружения. Существовал также короткий юго-западный (III) радиус, но на нем находилось одно сооружение типа 2ПБ-1800-III [1, 5].

До настоящего времени сохранились отдельные фрагменты приборных и фортификационных сооружений со следами от воздействия ядерного взрыва на расстояниях до 10 км от эпицентра (Рисунок 1.7).

В общей сложности, на строительство полигона было затрачено (в твердых довоенных ценах) 183 млн. рублей в ценах 1947 г., без учета затрат на подготовку и проведение ядерных испытаний [1, 4, 5].

Строительство новых испытательных площадок для проведения атмосферных испытаний.

Первоначально вся территория «Опытного поля» носила условное название площадки «П». Однако позднее, после принятия решения о строительстве других испытательных площадок в пределах «Опытного поля», его центральную часть (центральную площадку, место проведения первых атмосферных ядерных испытаний) радиусом ~ 2 км стали именовать площадкой П-1 [1, 5].

Основной причиной строительства новых площадок стала стремительно возрастающая интенсивность проведения ядерных испытаний, связанная с необходимостью проведения не только наземных,

но и воздушных ядерных испытаний различной мощности. Также на строительство испытательных площадок повлияли несколько значимых факторов: увеличение числа разработок новых образцов ядерного оружия различного назначения (для авиации, ракетных войск, артиллерии, военно-морского флота и др.) и наличие на «Опытном поле» всего одной испытательной площадки (П-1). Важную роль сыграло то, что в результате проведения наземного термоядерного испытания большой мощности в августе 1953 г. в центре технической площадки П-1 (месте расположения металлической башни для размещения ядерного заряда) образовалась воронка и возникло обширное радиоактивное загрязнение территории площадки, что исключило возможность последующего использования большинства построенных на ней приборных сооружений [1, 5]. Таким образом, были построены новые испытательные технические площадки: П-2 (для наземных испытаний), П-3 (воздушных испытаний ядерных бомб малой и средней мощности), П-5 (наземных испытаний бомб малой мощности и воздушных испытаний ядерных бомб средней и большой мощности), П-7 (для испытания ядерных зарядов малой мощности, гидроядерных испытаний, а также экспериментов с химическими зарядами мощностью до 1 кт), П-6 и П-6А (площадки для проведения испытания макетов ядерных зарядов [5, 1]). На технических площадках П-3 и П-5, предназначенных для проведения воздушных испытаний при бомбометании с самолетов, были подготовлены специальные целеуказатели, в форме крестов из мела и белой глины, для визуального прицеливания, а также установлены уголковые отражатели (Рисунок 1.8).



Рисунок 1.8. Современный вид на прицельные метки, техническая площадка П-5

Для размещения различных необходимых приборов были построены новые подземные казематы, а для кино- и фотокамер – подвижные сооружения КРВ. Каждая из созданных технических площадок представляла собой участок радиусом ~ 2 км без специального ограждения [5]. Согласно хронологии проведения наземных ядерных испытаний [5, 11], строительство технической площадки П-7 завершилось к 1961 г., после чего П-7 использовалась для проведения испытаний, предназначенных для исследования аварийных режимов и аварийных ситуаций.

Техническая площадка П-2Г располагается на расстоянии ~ 1 км от южной границы площадки «Опытное поле». На площадках П-2Г и П-7 проводились модельные неядерно-взрывные (гидроядерные) эксперименты [5, 11]. Необходимо отметить, что в официальных источниках отсутствует информация о местоположении площадки П-2Г, поэтому, при выявлении в 2012 г. радиоактивно-загрязненной площадки во время проведения радиоэкологических обследований территории, прилегающей к «Опытному полю», ей было присвоено название П-2М в соответствии с ближайшей площадкой П-2 (Рисунок 1.9). Дальнейшие обследования показали, что площадка П-2М является площадкой П-2Г.

Координаты центральных точек расположения технических площадок на территории испытательной площадки «Опытное поле» и их схематическое изображение представлены ниже (Таблица 1.1, Рисунок 1.9).

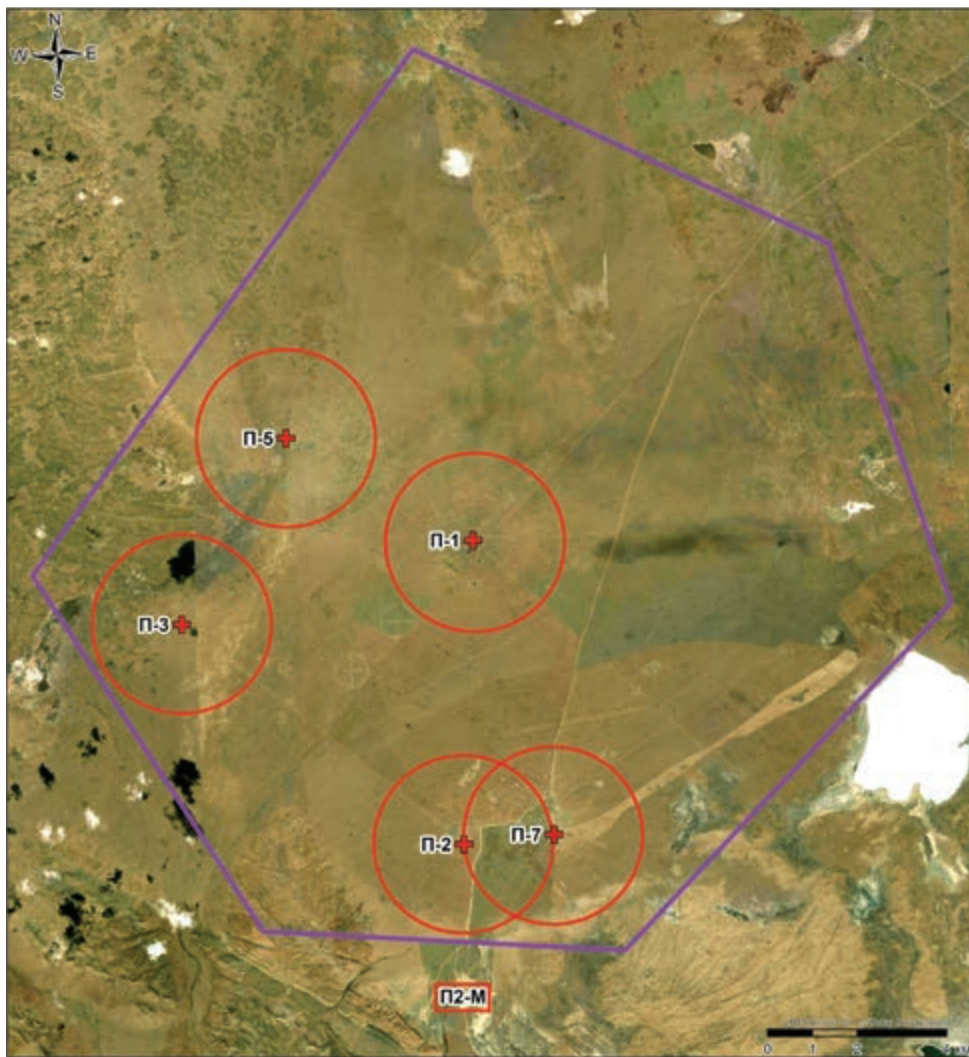
До настоящего времени частично сохранились приборные и фортификационные сооружения со следами воздействия ядерных испытаний. На космоснимке достаточно отчетливо прослеживаются контуры испытательных площадок, полевых дорог и некоторых сохранившихся объектов (например, приборных сооружений), а также указателей для бомбометания.

Помимо ядерных испытаний, на территории «Опытного поля» проводились и модельные неядерно-взрывные (гидроядерные и гидродинамические) эксперименты, сопровождаемые диспергированием (распылением) изотопов плутония [14]. Последнее проведение подобного эксперимента было осуществлено 12 августа 1965 г. на технической площадке П-2Г (П-2М).

Важным событием 1956 г. стало проведение на территории площадки П-3 вторых в истории СССР войсковых учений с применением ядерного оружия на тему «Применение тактического воздушного десанта вслед за атомным ударом с целью удержания зоны поражения атомного взрыва до подхода наступающих войск с фронта» [16, 17]. Мощность ядерного заряда составила 38 кт.

Таблица 1.1. Координаты центральных точек технических площадок, расположенных на территории площадки «Опытное поле»

Координаты	Координаты центральных точек технических площадок				
	П-1	П-2	П-7	П-3	П-5
Широта	50°26'16.7"	50°22'36.0"	50°22'41.3"	50°25'22.5"	50°27'34.6"
Долгота	77°48'50.7"	77°48'28.0"	77°50'10.2"	77°43'17.9"	77°45'23.3"



— граница площадки «Опытное поле» — границы технических площадок + центральные точки технических площадок

Рисунок 1.9. Расположение технических площадок на территории «Опытного поля»

Радиоактивное загрязнение почвенного покрова на территории площадки «Опытное поле» в пространственном отношении подразделяется на несколько типов [18]:

- эпицентральные зоны (эпицентры) – локальные участки радиоактивного загрязнения в форме круга, диаметр варьирует от нескольких десятков метров до нескольких километров (в зависимости от мощности ядерного взрыва и высоты подрыва);

- следы радиоактивных выпадений от атмосферных (наземных и воздушных) ядерных испытаний;

- места проведения неядерно-взрывных испытаний (гидроядерные и гидродинамические эксперименты) – локальные участки радиоактивного загрязнения, не имеющие четкой пространственной формы;

- следы радиоактивных выпадений от неядерно-взрывных испытаний (гидроядерных и гидродинамических экспериментов).

Актуальная информация о радиоэкологической обстановке окружающей среды испытательной площадки «Опытное поле» получена в результате проведения комплексного экологического обследования земель Семипалатинского испытательного полигона в рамках выполнения работ по республиканской бюджетной программе, а также в рамках реализации международных договоров между Соединёнными Штатами Америки и Республикой Казахстан по обеспечению ядерной безопасности.

1.2. Ядерные испытания

Согласно литературным данным, в период с 1949 г. по 1963 г. на «Опытном поле» было проведено 116 ядерных испытаний, из которых 86 являлись воздушными испытаниями, 30 – наземными испытаниями, проведенными на малой или нулевой высоте, при этом в 5 случаях ядерное устройство не сработало [11, 12, 13, 14, 15]. Данные испытания стали основным источником поверхностного радиоактивного загрязнения почвы на СИП. Первое ядерное испытание советской атомной бомбы было проведено 29 августа 1949 г. Мощность первого ядерного заряда, сконструированного СССР, составила 20 килотонн в тротиловом эквиваленте (Рисунок 1.10).



Рисунок 1.10. Испытание РДС-1 и современное состояние эпицентра площадки П-1 с видом на юго-восточную линию приборных сооружений

12 августа 1953 г. произошло испытание первого термоядерного устройства, 22 ноября 1955 г. – первая водородная бомба [11]. Количество ядерных испытаний, проведенных на территории испытательной площадки по годам, приведено в таблице (Таблица 1.2). Общее энерговыделение атмосферных ядерных испытаний в пересчете на эквивалент обычного взрывчатого вещества (тринитротолуола) составляла 6,6 мегатонн в тротиловом эквиваленте.

Таблица 1.2. Распределение количества ядерных испытаний на «Опытном поле» по годам

Год	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962
Наземные	1	0	1	0	1	3	3	3	0	0	0	0	6	12
Воздушные	0	0	1	0	4	6	2	5	11	8	0	0	22	27
Всего	1	0	2	0	5	9	5	8	11	8	0	0	28	39

В 1950 г. и 1952 г. были перерывы в проведении ядерных испытаний СССР, связанные со спецификой начальной стадии работ над программой ядерных вооружений. СССР не проводил ядерных испытаний в период 1959-1960 гг. и до 1 августа 1961 года, участвуя в моратории на ядерные испытания вместе с США и Великобританией. Начиная с 1963 г. прекращены испытания в атмосфере, обусловленные подготовкой заключения договора о запрещении ядерных испытаний в трёх средах и переходом на реализацию программы подземных ядерных испытаний, после подписания которого все испытания ядерного оружия в атмосфере запрещены [19].

Атмосферные ядерные испытания на испытательной площадке проводились на 5 технических площадках: П-1, П-2, П-3, П-5, П-7. Проведенные на их территории ядерные испытания имели различную мощность заряда, варьирующую в диапазоне от менее 0,1 до 1600 кт в тротиловом эквиваленте. Основными целями при проведении ядерных испытаний в атмосфере являлись совершенствование ядерного оружия, исследования аварийных режимов и аварийных ситуаций, фундаментальные и методические исследования. В ряде случаев проведение ядерного испытания преследовало несколько целей, однако, для их идентификации использовалась одна цель, являющаяся для данного эксперимента приоритетной [12].

По условиям проведения ядерных испытаний была принята следующая классификация [8]:

- наземный взрыв – ядерное испытание на поверхности земли или на испытательной башне. К этой категории отнесен также ядерный взрыв, осуществленный 30 октября 1954 г. (авиабомба) с подрывом на небольшой высоте;

- воздушный взрыв – ядерное испытание в атмосфере, при проведении которого расширяющийся огненный шар, образующийся в результате взрыва, не касается поверхности земли.

Историческая информация об испытаниях ядерного оружия на территории испытательной площадки «Опытное поле» представлена в таблице (Таблица 1.3), [5, 11, 12, 13, 14].

Таблица 1.3. Хронология наземных и воздушных испытаний ядерного оружия на территории испытательной площадки «Опытное поле»

№ п/п	Дата испытания	Цель испытания	Мощность испытания, кт ТЭ	Условия проведения	Высота взрыва, м
1.	29.08.1949 г.	СЯО	22	наземный	башня 30
2.	24.09.1951 г.	СЯО	38	наземный	башня 30
3.	18.10.1951 г.	СЯО	42	воздушный	
4.	12.08.1953 г.	СЯО	400	наземный	башня 30
5.	23.08.1953 г.	СЯО	28	воздушный	600
6.	03.09.1953 г.	СЯО	5,8	воздушный	
7.	08.09.1953 г.	СЯО	1,6	воздушный	
8.	10.09.1953 г.	СЯО	4,9	воздушный	220
9.	29.09.1954 г.	СЯО	0,2	воздушный	
10.	01.10.1954 г.	СЯО	0,03	воздушный	
11.	05.10.1954 г.	СЯО	4	наземный	0
12.	03.10.1954 г.	СЯО	2	воздушный	
13.	08.10.1954 г.	СЯО	0,8	воздушный	
14.	23.10.1954 г.	СЯО	62	воздушный	410
15.	26.10.1954 г.	СЯО	2,8	воздушный	
16.	19.10.1954 г. (не сработало)	СЯО	0	наземный	башня 15
17.	30.10.1954 г.	СЯО	10	наземный	сброс с самолёта с подрывом на высоте 50 (55[11])
18.	29.07.1955 г.	СЯО	1,3	наземный	2,5
19.	02.08.1955 г.	СЯО	12 (11,5 [13])	наземный	2,5
20.	05.08.1955 г.	СЯО	1,5 (1,2 [11],[13])	наземный	1,5

№ п/п	Дата испытания	Цель испытания	Мощность испытания, кт ТЭ	Условия проведения	Высота взрыва, м
21.	06.11.1955 г.	СЯО	250	воздушный	
22.	22.11.1955 г.	СЯО	1600	воздушный	
23.	16.03.1956 г.	СЯО	14 (13,2 [13])	наземный	0,4
24.	25.03.1956 г.	СЯО	5,5	наземный	1
25.	24.08.1956 г.	СЯО	27 (26,5 [13])	наземный/ низкий воздушный [14]	Башня 100
26.	30.08.1956 г.	СЯО	900	воздушный	
27.	02.09.1956 г.	СЯО	51	воздушный	
28.	10.09.1956 г.	СЯО	38	воздушный	270
29.	17.11.1956 г.	СЯО	900	воздушный	
30.	14.12.1956 г.	СЯО	40	воздушный	
31.	08.03.1957 г.	СЯО	19	воздушный	
32.	03.04.1957 г.	СЯО	42	воздушный	1100
33.	06.04.1957 г.	СЯО	57	воздушный	1145
34.	10.04.1957 г.	СЯО	680	воздушный	2000
35.	12.08.1957 г.	СЯО	22	воздушный	
36.	16.04.1957 г.	СЯО	320	воздушный	
37.	22.08.1957 г.	СЯО	520	воздушный	
38.	26.08.1957 г.	ИАР	0,1	воздушный	
39.	13.09.1957 г.	СЯО	5,9	воздушный	
40.	26.09.1957 г.	СЯО	13	воздушный	
41.	28.12.1957 г.	СЯО	12	воздушный	615
42.	04.01.1958 г.	СЯО	1,3	воздушный	400
43.	17.01.1958 г.	СЯО	0,5	воздушный	500
44.	13.03.1958 г.	СЯО	1,2	воздушный	
45.	14.03.1958 г.	СЯО	35	воздушный	
46.	15.03.1958 г.	СЯО	14	воздушный	965
47.	18.03.1958 г.	ФМИ	0,16	воздушный	290
48.	20.03.1958 г.	СЯО	12	воздушный	1015
49.	22.03.1958 г.	СЯО	18	воздушный	1415
50.	01.09.1961 г.	СЯО	16	воздушный	75
51.	04.09.1961 г.	СЯО	9	воздушный	93
52.	05.09.1961 г.	СЯО	16	воздушный	100

№ п/п	Дата испытания	Цель испытания	Мощность испытания, кт ТЭ	Условия проведения	Высота взрыва, м
53.	06.09.1961 г.	СЯО	1,1	воздушный	
54.	09.09.1961 г.	ИАР	0,38 (0,4 [13])	наземный	0
55.	10.09.1961 г.	СЯО	0,88	воздушный	
56.	11.09.1961 г.	СЯО	0,3	воздушный	
57.	13.09.1961 г.	СЯО	0,001-20	воздушный	65
58.	14.09.1961 г.	СЯО	0,4	наземный	0
59.	17.09.1961 г.	СЯО	20-150	воздушный	
60.	18.09.1961 г.	ИАР	0,004	наземный	1
61.	18.09.1961 г.	СЯО	0,75	воздушный	
62.	19.09.1961 г.	ИАР	0,03 (0,003 [11])	наземный	0
63.	20.09.1961 г.	СЯО	4,8	воздушный	
64.	21.09.1961 г.	СЯО	0,8	воздушный	110
65.	26.09.1961 г.	СЯО	1,2	воздушный	
66.	01.10.1961 г.	СЯО	3	воздушный	
67.	04.10.1961 г.	СЯО	13	воздушный	
68.	12.10.1961 г.	СЯО	15	воздушный	570
69.	17.10.1961 г.	СЯО	6,6	воздушный	
70.	19.10.1961 г.	СЯО	0,001-20	воздушный	710
71.	25.10.1961 г.	ФМИ	0,5	воздушный	
72.	30.10.1961 г.	СЯО	0,09	воздушный	470
73.	01.11.1961 г.	СЯО	2,7	воздушный	
74.	02.11.1961 г.	СЯО	0,6	воздушный	
75.	03.11.1961 г. (не сработало)	ИАР	0	наземный	0
76.	03.11.1961 г.	СЯО	0,9	воздушный	635
77.	04.11.1961 г.	СЯО	0,2 (0,15 [11])	наземный	0
78.	01.08.1962 г.	СЯО	2,4	воздушный	
79.	03.08.1962 г.	СЯО	1,6	воздушный	
80.	04.08.1962 г.	СЯО	3,8	воздушный	390
81.	07.08.1962 г.	СЯО	9,9 (10 [13])	наземный	0
82.	18.08.1962 г.	СЯО	7,4	воздушный	710
83.	18.08.1962 г.	СЯО	5,8	воздушный	310
84.	21.08.1962 г.	СЯО	20-150	воздушный	
85.	22.08.1962 г.	СЯО	3	воздушный	
86.	23.08.1962 г.	СЯО	2,5	воздушный	
87.	25.08.1962 г.	СЯО	0,001-20	воздушный	

№ п/п	Дата испытания	Цель испытания	Мощность испытания, кт ТЭ	Условия проведения	Высота взрыва, м
88.	27.08.1962 г.	СЯО	11	воздушный	
89.	31.08.1962 г.	ФМИ	2,7	воздушный	700
90.	22.09.1962 г.	ИАР	0,21 (0,2 [13])	наземный	0
91.	24.09.1962 г.	СЯО	1,2	воздушный	630
92.	25.09.1962 г.	СЯО	7	наземный	0
93.	28.09.1962 г.	ФМИ	1,3	воздушный	
94.	09.10.1962 г.	СЯО	8	воздушный	
95.	10.10.1962 г.	СЯО	9,2	воздушный	665
96.	13.10.1962 г.	СЯО	4,9	воздушный	720
97.	14.10.1962 г.	СЯО	0,001-20	воздушный	
98.	20.10.1962 г.	СЯО	6,7	воздушный	
99.	28.10.1962 г.	СЯО	7,8	воздушный	
100.	28.10.1962 г.	СЯО	7,8	воздушный	
101.	30.10.1962 г.	СЯО	1,2	наземный	0
102.	31.10.1962 г.	СЯО	10	воздушный	
103.	01.11.1962 г.	СЯО	3	воздушный	
104.	03.11.1962 г.	СЯО	4,7	воздушный	
105.	04.11.1962 г.	СЯО	8,4	воздушный	
106.	05.11.1962 г.	ИПФ	0,4	наземный	Башня 15
107.	11.11.1962 г.	СЯО (ИАР [13])	0,1	наземный	Башня 8
108.	13.11.1962 г. (не сработало)	СЯО (ИАР [13])	0	наземный	0
109.	14.11.1962 г.	СЯО	12	воздушный	
110.	17.11.1962 г.	СЯО	18	воздушный	
111.	24.11.1962 г. (не сработало)	ИАР	0	наземный	0
112.	26.11.1962 г.	ИАР	0,03	наземный	0
113.	01.12.1962 г.	СЯО	2,4	воздушный	680
114.	23.12.1962 г. (не сработало)	ИАР	0	наземный	0
115.	24.12.1962 г.	ИАР	0,007	наземный	0
116.	24.12.1962 г.	ИАР	0,028(0,03[13])	наземный	0

Сокращения:
СЯО – совершенствование ядерного оружия;
ИАР – исследования аварийных режимов и аварийных ситуаций;
ФМИ – фундаментальные и методические исследования.

Все наземные ядерные испытания были осуществлены на территории «Опытного поля», при этом в 5 случаях ядерные устройства не сработали в штатном режиме [5]. Следы радиоактивных выпадений от 11 наземных ядерных испытаний вышли за пределы полигона, оставшиеся 14 испытаний были проведены в режиме максимального осаждения продуктов ядерного взрыва непосредственно в пределах границы полигона [20].

В результате проведения наземных испытаний в большинстве случаев образовались воронки диаметром десятки метров с выраженным навалом грунта и шлака – эпицентры (эпицентральные зоны). В ряде случаев для некоторых наземных испытаний характерно отсутствие воронки и оплавленных частиц почвы, что вполне допустимо в случае проведения испытания зарядов малой мощности на высоких башнях, сбросах с самолетов и подрывов ядерных зарядов на небольшой высоте. Кроме того, это может быть свидетельством проведения рекультивационных работ, когда выброшенный ядерным взрывом грунт был возвращен в воронку, после чего эпицентральная зона отсыпалась чистым грунтом. Свидетельствовать о существовании эпицентральных зон атмосферных испытаний также могут целеуказатели на поверхности земли в виде окружностей и квадратов с крестами, а также расположенные в определенной последовательности от эпицентров техногенные объекты. Основным подтверждением обнаружения эпицентра ядерного испытания является наличие радиоактивного загрязнения местности.

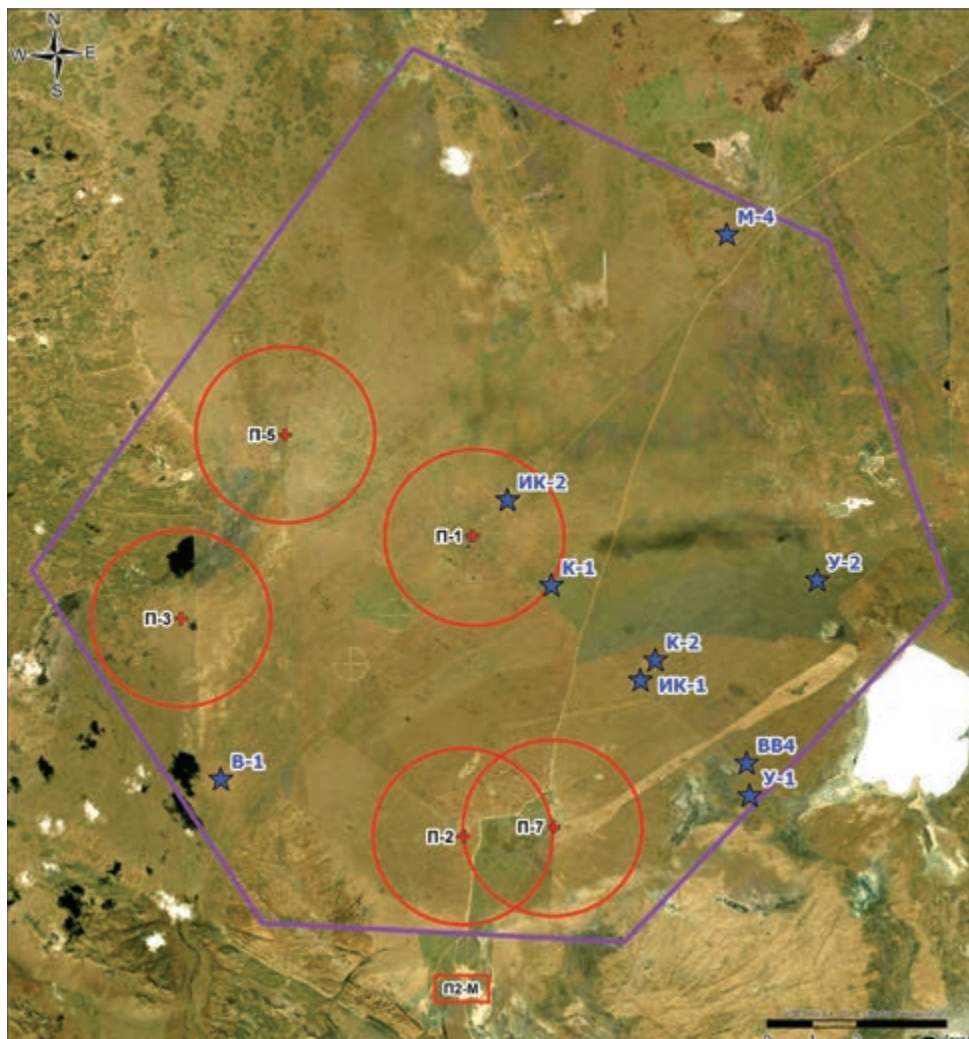
Площадное радиационное обследование территории площадки «Опытное поле», выполненное в 2012-2014 гг., помогло идентифицировать 24 места проведения маловысотных и наземных ядерных испытаний [21, 22]. Наземные испытания, сформировавшие основное загрязнение на территории СИП и за его пределами, были проведены на технических площадках П-1, П-2, П-3 (по 4 испытания на каждой площадке), П-5 (3 испытания) и на площадке П-7 (13 испытаний).

Также, по результатам многолетних обследований территории площадки «Опытное поле», были выявлены участки проведения различных экспериментов, территориально не входящие в состав технических площадок (Рисунок 1.11):

- участок В-1 – ядерное наземное испытание малой мощности, расположенное недалеко от юго-западной границы площадки «Опытное поле»;

- участок ИК-2 – предположительно, наземный эксперимент с делящимися материалами либо аварийное испытание в северо-восточной части площадки П-1;

- участки К-1 и К-2 – места проведения экспериментов с химическими взрывчатыми веществами. Расположены вдоль юго-восточного направления приборных сооружений от площадки П-1.



Условные обозначения

- | | |
|--|-----------------------------------|
| ★ участки | □ граница площадки «Опытное поле» |
| ◆ центральные точки технических площадок | □ границы технических площадок |

Рисунок 1.11. Расположение участков проведения различных экспериментов на площадке «Опытное поле»

В результате проведения радиоэкологического обследования территории «Опытного поля» установлено, что поверхностное загрязнение почвы на данной площадке в пространственном отношении неоднородно – оно характерно непосредственно для мест проведения наземных и некоторых воздушных ядерных взрывов. Так, наземные ядерные испытания малой и сверхмалой мощности обусловили радиоактивное загрязнение местности в пределах испытательной площадки, а некоторые ядерные испытания средней и большой мощности привели к радиоактивному загрязнению территории полигона и территорий за его пределами. В настоящее время радиоактивное загрязнение территории площадки «Опытное поле» характеризуется остатками делящегося вещества ядерного заряда (изотопы плутония) и дочерним продуктом оружейного плутония – ^{241}Am , долгоживущими продуктами деления (^{90}Sr , ^{137}Cs) и продуктами нейтронной активации (^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{155}Eu , ^{60}Co) [18, 19].

1.3. Гидроядерные и гидродинамические эксперименты

В период с 1958 г. по 1965 г. на территории испытательной площадки «Опытное поле» проводились серии модельных неядерно-взрывных экспериментов. Гидроядерные эксперименты не являлись испытаниями ядерного оружия или промышленных ядерных зарядов и проводились в целях научных исследований некоторых вопросов физики работы ядерных взрывных устройств. Результаты гидроядерных экспериментов имели важное значение для анализа вопросов обеспечения надежности и безопасности хранения и эксплуатации ядерного оружия [1].

При проведении гидроядерных экспериментов значимое ядерное энерговыделение практически отсутствовало, что способствовало образованию малого количества осколков деления материалов ядерного заряда. Вследствие этого, радиационное воздействие на окружающую среду происходило за счет диспергирования ядерных материалов, входящих в состав ядерного заряда. При проведении модельных экспериментов диспергированию подвергался плутоний [14]. Количество делящегося материала или его аналога, участвующего в гидроядерных экспериментах испытаниях различно и для изотопов плутония может составлять – от 0,06 до 1,8 кг [24].

На «Опытном поле» гидроядерные эксперименты проводились на поверхности грунта, преимущественно в котлованах глубиной ~ 3 м, за исключением первых двух испытаний, являющихся воздушными [14]. Данные эксперименты проводились на территории технических

площадок П-3, П-7 и П-2М. В период 1958-1965 гг. проведено 42 наземных гидроядерных эксперимента, которые отличались друг от друга количеством выброшенной в атмосферу активности и высотой подъема верхней кромки облака взрыва (Таблица 1.4, Таблица 1.5) [1, 14].

Таблица 1.4. Распределение количества гидроядерных экспериментов, проведённых в СССР, на площадке «Опытное поле» в 1958 – 1965 гг.

№ п/п	Год проведения экспериментов	Количество экспериментов
1.	1958 г.	2
2.	1960 г.	12
3.	1961 г.	13
4.	1963 г.	13
5.	1965 г.	2

Таблица 1.5. Хронология проведения гидроядерных экспериментов на площадке «Опытное поле»

№ п/п	Дата проведения	Условия проведения
Программа 1958 года		
1.	13.03.1958 г.	воздушный
2.	15.03.1958 г.	воздушный
Программа 1960 года		
3.	20.05.1960 г.	наземный
4.	22.05.1960 г.	наземный
5.	24.05.1960 г.	наземный
6.	26.05.1960 г.	наземный
7.	31.05.1960 г.	наземный
8.	03.06.1960 г.	наземный
9.	06.06.1960 г.	наземный
10.	08.06.1960 г.	наземный
11.	10.06.1960 г.	наземный
12.	11.06.1960 г.	наземный
13.	13.06.1960 г.	наземный
14.	16.06.1960 г.	наземный
Программа 1961 года		
15.	27.06.1961 г.	наземный
16.	29.06.1961 г.	наземный
17.	01.07.1961 г.	наземный
18.	04.07.1961 г.	наземный
19.	06.07.1961 г.	наземный
20.	08.07.1961 г.	наземный
21.	13.07.1961 г.	наземный
22.	15.07.1961 г.	наземный
23.	20.07.1961 г.	наземный
24.	21.07.1961 г.	наземный

№ п/п	Дата проведения	Условия проведения
25.	22.07.1961 г.	наземный
26.	22.07.1961 г.	наземный
27.	24.07.1961 г.	наземный
Программа 1963 года		
28.	19.09.1963 г.	наземный
29.	20.09.1963 г.	наземный
30.	24.09.1963 г.	наземный
31.	25.09.1963 г.	наземный
32.	26.09.1963 г.	наземный
33.	30.09.1963 г.	наземный
34.	01.10.1963 г.	наземный
35.	02.10.1963 г.	наземный
36.	10.10.1963 г.	наземный
37.	11.10.1963 г.	наземный
38.	12.10.1963 г.	наземный
39.	12.10.1963 г.	наземный
40.	15.10.1963 г.	наземный
Программа 1965 года		
41.	01.08.1965 г.	наземный
42.	12.08.1965 г.	наземный

Из 42 гидроядерных испытаний на площадке «Опытное поле» 40 территориально отнесены к наземным на площадках П-2М (П-2Г) и П-2, П-7, 2 испытания – к наземным на площадке П-3.

Согласно литературным данным, общее количество активности плутония, рассеянного в результате проведения гидроядерных экспериментов в период 1958-1963 гг., составило ~ 1000 Ки, что эквивалентно ~ 11 кг плутония [1, 14]. Несмотря на значительное радиоактивное загрязнение окружающей среды вокруг испытательной площадки, данная величина составляет незначительную долю плутония от общего количества, распределенного по поверхности земного шара за весь период проведения испытаний ядерного оружия. Так, по данным работы [25] на 1994 г., за время осуществления ядерных испытаний в атмосфере на всех полигонах мира было диспергировано примерно от 7 до 10 тонн плутония.

После 1965 г. все гидроядерные эксперименты были перенесены на другие испытательные площадки [3, 14]. Данный факт свидетельствует

о прекращении использования территории испытательной площадки «Опытное поле» для проведения различных атмосферных испытаний.

В литературе присутствуют упоминания о проведении гидроядерных экспериментов только с плутонием. Однако, в результате обследования территории площадки «Опытное поле» обнаружены участки (У-1 и У-2), загрязненные обедненным ураном. Это дало основание предполагать, что участки У-1 и У-2 являются площадками для испытаний макетов ядерных зарядов с применением обедненного урана [20]. Участок У-1 являлся технической площадкой П-6А, а участок У-2 располагается между площадкой П-1 и командным пунктом. Таким образом, вероятно проведение серии гидроядерных экспериментов на выявленных участках с использованием изотопов урана.

В конце 1940-х годов для изучения и оценки характеристик и надежности основных ядерных вооружений использовали гидродинамические эксперименты в сочетании с ядерными испытаниями для изучения и оценки характеристик и надежности основных ядерных вооружений [1]. При проведении гидродинамических экспериментов испытательные элементы реального ядерного оружия или модели взрываются с использованием бризантных взрывчатых веществ, призванных имитировать первые стадии ядерного взрыва. При гидродинамических испытаниях изотопы урана, плутония или их имитирующих аналогов подвергаются достаточному давлению и ударам так, что они начинают вести себя как жидкости. Полученные при проведении испытаний рентгенограммы использовались для получения информации о возникшей имплозии; расчеты, основанные на результатах этих испытаний, используются для предсказания того, как будет работать ядерное оружие.

В подобных экспериментах с применением ядерных материалов, как правило, масса ниже критической, и данные эксперименты получили название «подкритические», что означало создание условий эксперимента, при которых скорость размножения нейтронов меньше 1. В подобных испытаниях энергия за счет ядерного деления обычно не выделяется, либо составляет менее 1 тонны ТЭ (в основном, не выше 0,1 т) [26].

При проведении гидродинамических испытаний характер радиоактивного загрязнения окружающей среды аналогично загрязнению при проведении гидроядерных экспериментов, и также сопровождается диспергированием плутония. Достоверной информации о количестве и месте проведения гидродинамических экспериментов не найдено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 1

1. Проведение комплекса научно-технических и инженерных работ по приведению бывшего Семипалатинского испытательного полигона в безопасное состояние: в 3 т. Т.1 / Н.А.Назарбаев и др. - Курчатов: Национальный ядерный центр РК, 2016. - 318 с.
2. Логачев В.А. и др. Ядерные испытания СССР: современное радиозэкологическое состояние полигонов. Под рук. В.А. Логачева – Москва: ИздАТ, 2002 г.
3. Атомный проект СССР. Том 2. / Кол. авторов под рук. Л.Д. Рябева. - Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2006. - 895 с. Атомный проект СССР: Документы и материалы: В 3 т. / Под общ. ред. Л.Д. Рябева. Т. II. Атомная бомба. 1945-1954. Книга 6 / Федеральное агентство РФ по атом, энергии; Отв. сост. Г.А. Гончаров. - Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2006. - 896 с.
4. Валынкин И.Н. Создание Семипалатинского полигона и первое испытание ядерного оружия / И.Н. Валынкин // журнал Атомная энергия. Т.87, вып.6 – 1999. – с.426-432.
5. Логачев В.А. и др. Ядерные испытания СССР. Семипалатинский полигон. Под ред. Логачева В.А.-Москва: ИздАТ, 1997 г.
6. Алексеев В.В. Во имя ядерного щита страны. В кн.: Курчатовский институт. История атомного проекта. Выпуск 3. Москва: ГНЦ-КИ, 1995. - С. 57-102.
7. Грешилов А.А., Егупов Н.Д., Матущенко А.М. Ядерный щит. – Москва: Логос, 2008-424 с.
8. Михайлов В.Н. и др. Ядерные испытания СССР [Технологии ядерных испытаний СССР. Воздействие на окружающую среду. Меры по обеспечению безопасности. Ядерные полигоны и площадки] / Под ред. В.Н. Михайлова. В.В. Адушкин, И.А. Андрюшин [и др.]. –Т.2. – Москва: МСФАЭ,1997-302 с.
9. Акчурин И.А. Семипалатинский ядерный полигон. Создание, становление, деятельность /И.А. Акчурин. – Москва: «Голден-Би», 2007-258 с.
10. Андрюшин И.А. и др. Укрощение ядра: Страницы истории ядерного оружия и ядерной инфраструктуры СССР / И.А. Андрюшин, А.К. Чернышев, Ю.А. Юдин; гл.ред. Р.И. Илькаев // Саров; Саранск: Красный Октябрь, 2003-484 с.
11. Андрюшин И.А. и др. Общие характеристики и некоторые вопросы экологических последствий ядерных испытаний СССР. Труды

- РФЯЦ-ВНИИЭФ. Том 1. / Андриюшин И.А., Илькаев Р.И., Чернышев А.К. // Научно-исследовательское издание, Саров, 2001-637 с.
12. Михайлов В.Н. и др. Испытание ядерного оружия и ядерные взрывы в мирных целях СССР. 1949–1990 гг. / Под ред. В.Н. Михайлова. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1996. 66 с.
 13. Сайбеков Т.С., Абылаев Ж.А. Атлас. Радиационная обстановка на территории Республики Казахстан с 1954 по 1994 годы. Т.16, Семипалатинская область. Алматы: Министерство экологии и биоресурсов РК, 1997-400 с.
 14. Андриюшин И.А., Волошин Н.П., Илькаев Р.И. и др. Ядерные испытания СССР. Гидроядерные эксперименты. Инвентаризация затрат плутония. / Кол. авторов под рук. В.Н. Михайлова // Москва: РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, 1998 г., 22 с.
 15. Стратегическое ядерное вооружение России / Кол. авторов под ред. П. Л. Подвига.-М.: ИздАТ, 1998 – 492 с.
 16. Суконкин А. Десант страны советов. 2008 г. 184 с.
 17. Алексеев В.В. Во имя ядерного щита страны // Курчатовский институт. История атомного проекта : сб. ст. / М: Рос. науч. центр «Курчатовский институт». Вып. 3. 1995 – с. 57-102.
 18. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана. Выпуск 5. Оптимизация исследований территорий Семипалатинского испытательного полигона с целью их передачи в хозяйственный оборот / под рук. Лукашенко С.Н. – Павлодар: Дом печати, 2015.- 356 с.
 19. Андриюшин И.А. и др. Ядерные испытания СССР. Том 1. / Кол. авторов под рук. В. Н. Михайлова. - Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1997 – 288 с.
 20. Дубасов Ю.В. Семипалатинский испытательный полигон: оценивая радиологические последствия. / Ю.В. Дубасов, А.М. Матущенко Н.П. Филонов [и др.] // Информационный бюллетень. Спецвыпуск, 1993 – С.23.
 21. Умаров М.А., Лукашенко С.Н., Мошков А.С. и др. Исследование площадного радиоактивного загрязнения испытательной площадки «Опытное поле» (2012–2014) / Под ред. Э.Г. Батырбекова. Курчатов: Национальный ядерный центр // Вестн. НЯЦ РК. 2016. Вып. 1 (65). С. 142–148.
 22. Мошков А.С. Характер и уровни радионуклидного загрязнения площадки «Опытное поле» Семипалатинского испытательного полигона / А.С. Мошков, С.Н. Лукашенко, Ю.Ю. Яковенко и др. // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сб. трудов Нацио-

- нального ядерного центра Республики Казахстан за 2010 г.]/под ред. С.Н. Лукашенко. – Павлодар: Дом печати, 2011. – Вып. 3. – Т. 1. – С. 13-80 - ISBN 978-601-7112-52-3.
23. Койгельдинова М.Т., Лукашенко С.Н., Мухамедиаров Н.Ж., Умаров М.А. Оценка уровней загрязненности площадки «Опытное поле» Семипалатинского испытательного полигона техногенным ураном / М.Т. Койгельдинова – М.: Радиационная Биология. Радиоэкология, 2018, том 58, № 1, с. 1–15.
24. Интернет-ресурс <http://www.johnstonsarchive.net/nuclear/tests/minntestshydr.html>
25. Плутоний в России. Экология, экономика, политика. / Кол. Авторы под рук. А.В.Яблокова, – М.: Центр экол. политики в России, 1994. – 141 с.
26. Ядерное нераспространение: Краткая энциклопедия. - М.: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН); ПИР-Центр, 2009. - С 337-338.

ГЛАВА 2. ВЫЯВЛЕНИЕ ОЯД НА ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»

2.1. Методология обследования

Различные объекты окружающей среды на территории испытательной площадки «Опытное поле» подверглись радиоактивному загрязнению в результате атмосферных испытаний ядерного оружия (Рисунок 2.1). Базовым компонентом окружающей среды, накапливающим радионуклиды, является почва. Специалисты, проводившие анализ событий, происходивших на территории СИП, пришли к выводу, что радиоактивное загрязнение поверхностного слоя почвы обусловлено долгоживущими продуктами деления, такими как ^{137}Cs и ^{90}Sr , а также остатками делящегося вещества ядерного заряда (изотопы урана и плутония), ^{241}Am – продуктом распада ^{241}Pu и продуктами активации – ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{60}Co . В случае гидроядерных испытаний картина загрязнения несколько иная, поскольку цепная реакция практически отсутствует, загрязнение, в основном, формирует диспергированные элементы экспериментального заряда [1]. Таким образом, главной задачей является определение концентрации отходов ядерной деятельности (далее – ОЯД), представляющих радиационную опасность и угрозу распространения оружия массового поражения.

В общей сложности обследование площадки «Опытное поле» и прилегающей к ней территории длилось около 6 лет и состояло из двух основных этапов.

На первом этапе (работы 2012-2014 гг.) проводилось обследование испытательной площадки и прилегающей территории (Рисунок 2.1), целью которого было идентифицировать все объекты, представляющие опасность с точки зрения радиационной безопасности и получить первичную информацию об уровнях радиоактивного загрязнения.

На втором этапе (работы 2013-2017 гг.), на основании результатов идентификации объектов, проводилась характеристика радиоактивного загрязнения и выявление объектов, содержащих ОЯД выше установленных критериев.

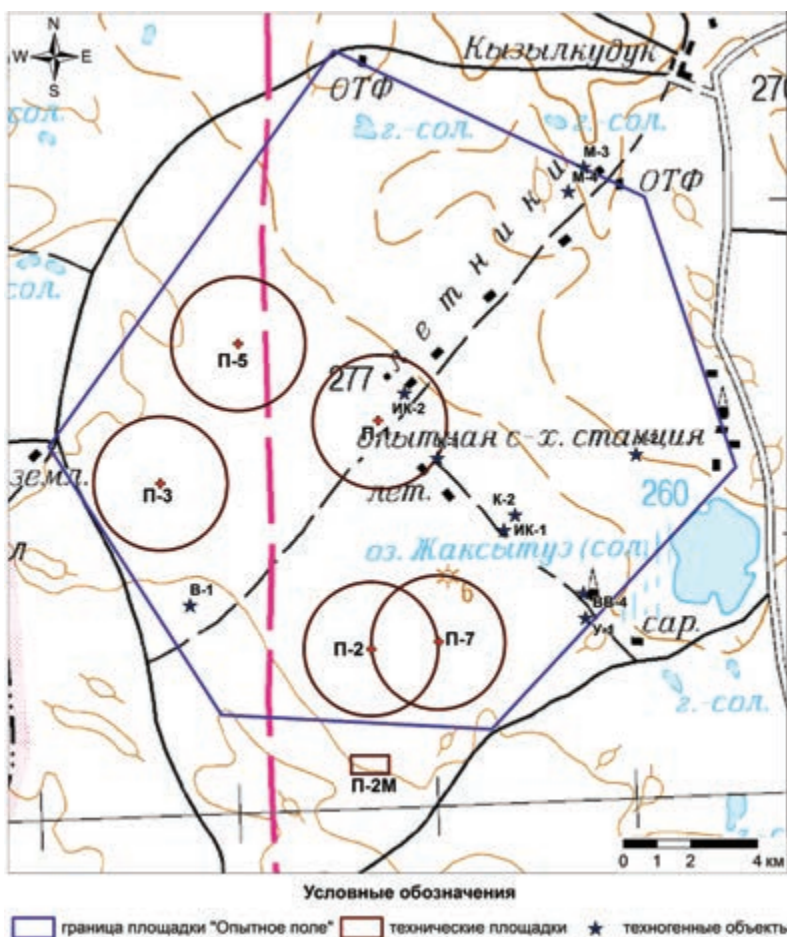


Рисунок 2.1. Топографическая карта расположения технических площадок на «Опытном поле»

2.1.1. Методология проведения работ по первому этапу

Для оценки степени радиоактивного загрязнения почвы было необходимо проведение крупномасштабного обследования территории «Опытное поле» и прилегающей к ней территории (~ 390 км²). Основные критерии при выборе метода обследования:

- выявление небольших по размеру локальных участков с ОЯД;
- определение радионуклидного состава ОЯД;
- определение ОЯД с достаточно высокой чувствительностью;
- проведение крупномасштабных работ в сжатые сроки.

Наиболее близкие к поставленной задаче подходили гамма-спектрометрические методы обследования, позволяющие выявить участки,

содержащие ОЯД, однако, известные на тот момент методы, по той или иной причине, в полной мере не удовлетворяли поставленным задачам:

- In-situ спектрометрия и отбор проб позволяют определять низкие концентрации содержания гамма-излучающих радионуклидов, но при этом скорость проведения таких исследований очень низкая.

- Аэрогаммасъемка не позволяет обнаруживать участки радиоактивного загрязнения малой площади, а также имеет низкую чувствительность для низкоэнергетических радионуклидов (в основном для ^{241}Am).

- Автогамма-спектрометрическая съемка позволяет сделать более детальную съемку. Также имеет большую чувствительность для низкоэнергетических радионуклидов, по сравнению с аэрогаммасъемкой (в связи с меньшим расстоянием от детектируемого оборудования к области обследования – почве), но недостаточную для выполнения поставленных задач.

В связи с этим, появилась необходимость в разработке собственного метода гамма-спектрометрического обследования территорий, объединяющего все необходимые характеристики.

Для выполнения поставленных задач был разработан уникальный метод пешеходной гамма-спектрометрической съемки (далее ПГСС) [2].

За основу разработанной методологии взяты два метода: первый – пешеходная (наземная) гамма-съемка (с остановкой в фиксированных точках), второй – автогамма-спектрометрическая съемка (непрерывный набор и запись спектрометрической информации). Таким образом, было принято решение, что обследование будет производить человек, передвигаясь пешком, но при этом он не будет останавливаться в фиксированных точках, чтоб произвести измерения. Вся спектрометрическая информация имеет координатную привязку, осуществляющейся с помощью GPS приемника. Набор и запись спектрометрической информации происходит постоянно во время движения оператора и сохраняется на портативный компьютер.

Метод ПГСС позволяет производить обследование территорий более оперативно, чем использование in-situ спектрометрии и отбора проб, и детектировать меньшую концентрацию содержания гамма-излучающих радионуклидов в почве чем аэро и автогамма-спектрометрическая съемка.

Комплекс для проведения ПГСС состоял из следующих компонентов: компактный полевой гамма-спектрометр, легкий портативный компьютер (либо ноутбук), GPS-приемник с точностью 3-5 м (Рисунок 2.2).



Рисунок 2.2. Сборка комплекса ПГСС перед началом работ

Изначально использовались сцинтилляционные детекторы двух производителей: Canberra и Ortec, на основе кристаллов LaBr_3 , размером 1,5x1,5 дюйма, и NaI – 2x2 дюйма. В процессе проведения работ от использования NaI детекторов решили отказаться. Хотя данный детектор был большего объема и имел эффективность регистрации (для ^{137}Cs) выше LaBr_3 , его разрешающая способность была значительно ниже, что затрудняло регистрировать низкоэнергетические радионуклиды (такие как ^{214}Am) низкой активности (порядка 600-700 Бк/кг).

Таким образом, в окончательном варианте комплекс ПГСС состоял из:

- детектора на основе кристаллов LaBr_3 ;
- анализатора импульсов ORTEC DigiBase, либо Canberra UniSpec;
- легкого компьютера (ноутбука);
- GPS модуля для географической привязки набранных спектров;
- GPS приемника (навигатора) – для движения оператора по маршруту обследования.

Так же при движении по сети обследования использовался дополнительный GPS-приемник с загруженными в него контрольными точками. Для соединения спектрометрической информации и координатной привязки было разработано собственное программное обеспечение.

Для проведения ПГСС территория площадки «Опытное поле» и прилегающей к ней территории были поделены на множество секторов, площадь каждого сектора составила 0,25 км² (Рисунок 2.3) [3, 4, 5].

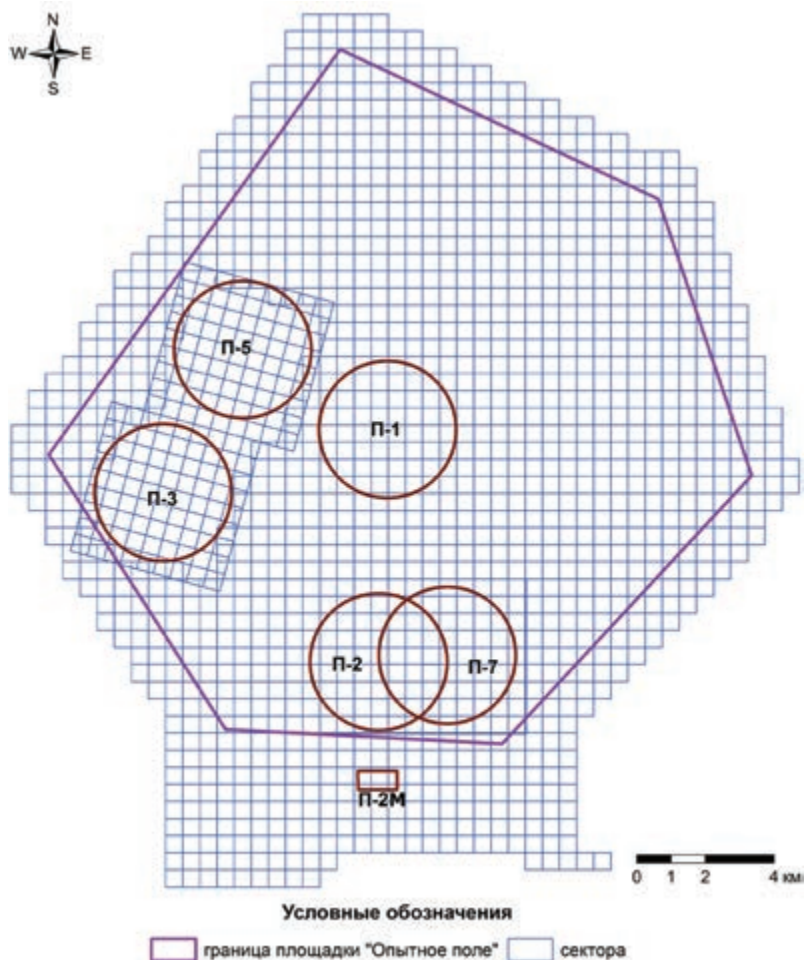


Рисунок 2.3. Схема радиологического обследования площадки «Опытное поле» по секторам

На каждый сектор накладывались профили, расстояние между которыми составляло 20 м (Рисунок 2.4, Рисунок 2.5) [3, 4, 5]. Оператор, производящий ПГСС, передвигался по маршруту, показанному на рисунке (Рисунок 2.4), вдоль профилей со скоростью порядка 2 км/ч. При данной скорости движения производилась запись гамма-спектров; время набора одного спектра устанавливалось 10-20 с. (в зависимости от используемого спектрометрического оборудования). При данных параметрах обследования и учёта того, что во время записи спектрометрической информации, набор не производился, количество гамма-спектров на каждый сектор обследования составляло порядка 2000.

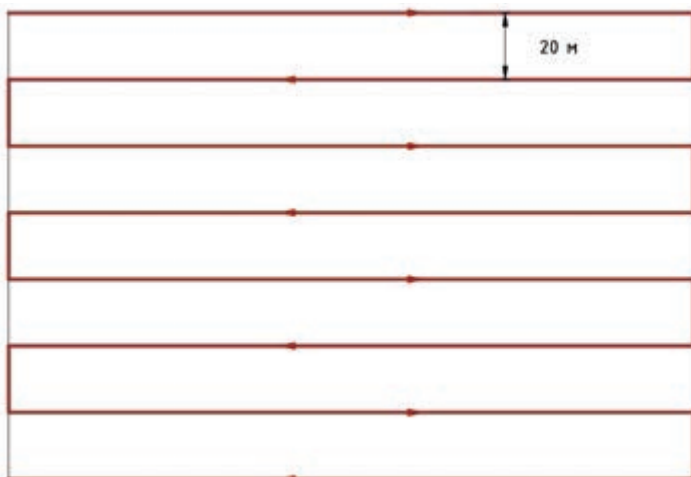


Рисунок 2.4. Схема проведения ПГСС



Рисунок 2.5. ПГСС по сети 20x20 м

Результаты измерений имели координатную привязку, которая была выполнена с помощью систем GPS-навигации. Вся координатно привязанная спектрометрическая информация одновременно и автоматически сохранялась на ноутбук [4, 5]. Данные, полученные при использовании данного метода ПГСС, характеризовали не «точку» определения координат, а участок, расположенный между данной точкой фиксации координат и предыдущей (Рисунок 2.6).

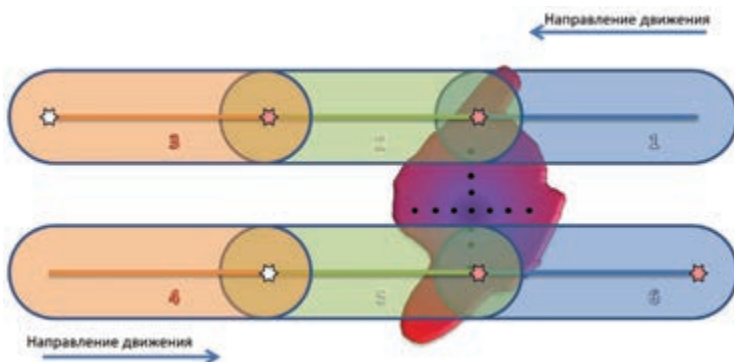


Рисунок 2.6. Схема записи данных при ПГСС

Для увеличения скорости обследования было увеличено количество спектрометрических систем, при этом возникла проблема в квалифицированном персонале. Выходом из данной проблемы стала разработка системы дистанционного контроля за работой спектрометрического комплекса. Таким образом, оператор может иметь меньшую квалификацию, и в его обязанность входит только контроль за маршрутом, скоростью передвижения, а также выполнение указаний спектрометриста, который находится в мобильной лаборатории и следит за работой нескольких спектрометрических комплексов (Рисунок 2.7).

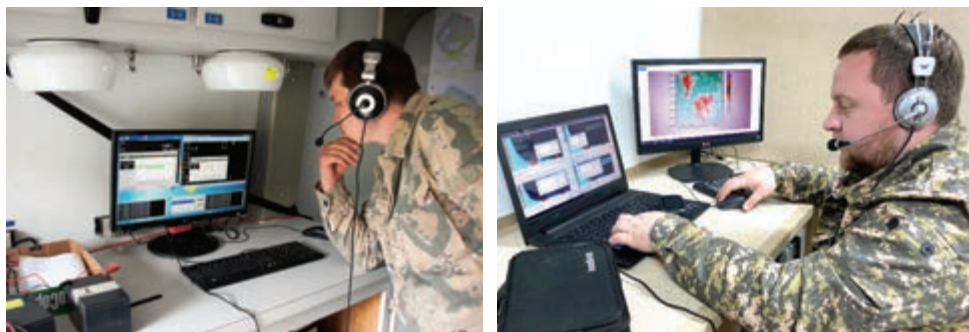


Рисунок 2.7. Дистанционный контроль за работой двух спектрометрических комплексов

Мобильные лаборатории размещались на шасси автомобиля повышенной проходимости и имели соответствующую инфраструктуру: место спектрометра, оснащенное ПК, систему беспроводной связи с операторами, систему автономного питания, кондиционирования воздуха и другое оборудование (Рисунок 2.8).

Всего одновременно исследования выполняли до 3-х мобильных лабораторий и до 6 операторов, с ограничением до 4-х операторов на 1 спектрометра.



Рисунок 2.8. Мобильные лаборатории

После проведения измерений выполнялась обработка полученных гамма-спектров. Обработка происходила с помощью разработанного программного обеспечения для пакетной обработки гамма-спектров, которое позволяло обрабатывать данные, собранные с одного сектора ($0,25 \text{ км}^2$), около 10 минут [4, 5] (Рисунок 2.9).

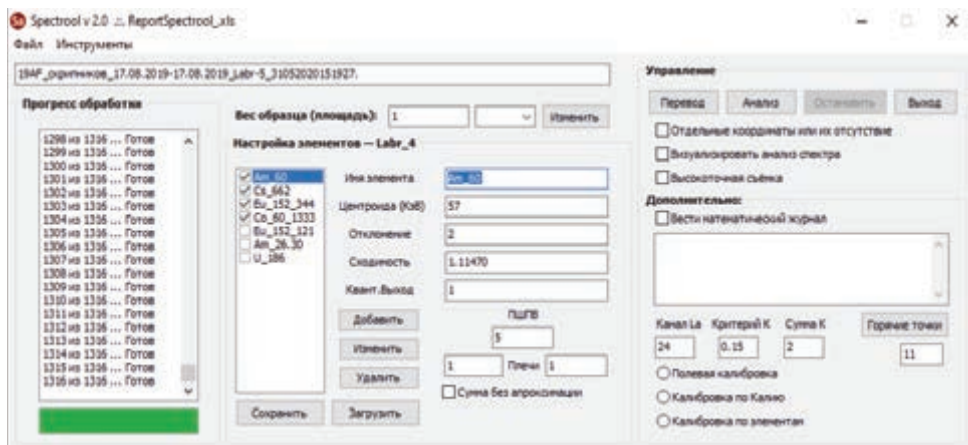


Рисунок 2.9. Программное обеспечение для пакетной обработки спектров

По результатам были построены карты загрязнения обследуемой территории (участка) радионуклидами ^{241}Am и ^{137}Cs . Затем данные карты накладывались на космические и аэрофотоснимки высокого разрешения обследуемой территории для идентификации техногенных объектов и выявления связей этих объектов с радиоактивным загрязнением местности.

Для сходимости результатов обследования, получаемых с разных комплексов, были проведены сличительные испытания на заранее выбранной площадке с однородным загрязнением гамма-излучающих радионуклидов (Рисунок 2.10).



Рисунок 2.10. Проведение сличительных испытаний

На основании данных испытаний для всех комплексов по основным гамма-излучающим радионуклидам были вычислены соответствующие коэффициенты.

Так же немаловажными работами при отработке методологии было установление коэффициентов перехода от срс (импульс в секунду) к активности в почве (Бк/кг) (коэффициентов эффективности). Для этого на площадке для сличительных испытаний был произведен отбор проб почвы (Рисунок 2.11, Рисунок 2.12). Отобранные пробы были смешаны, гомогенизированы и переданы в лабораторию. На основании результатов полевых и лабораторных гамма-спектрометрических исследований были рассчитаны коэффициенты перехода.

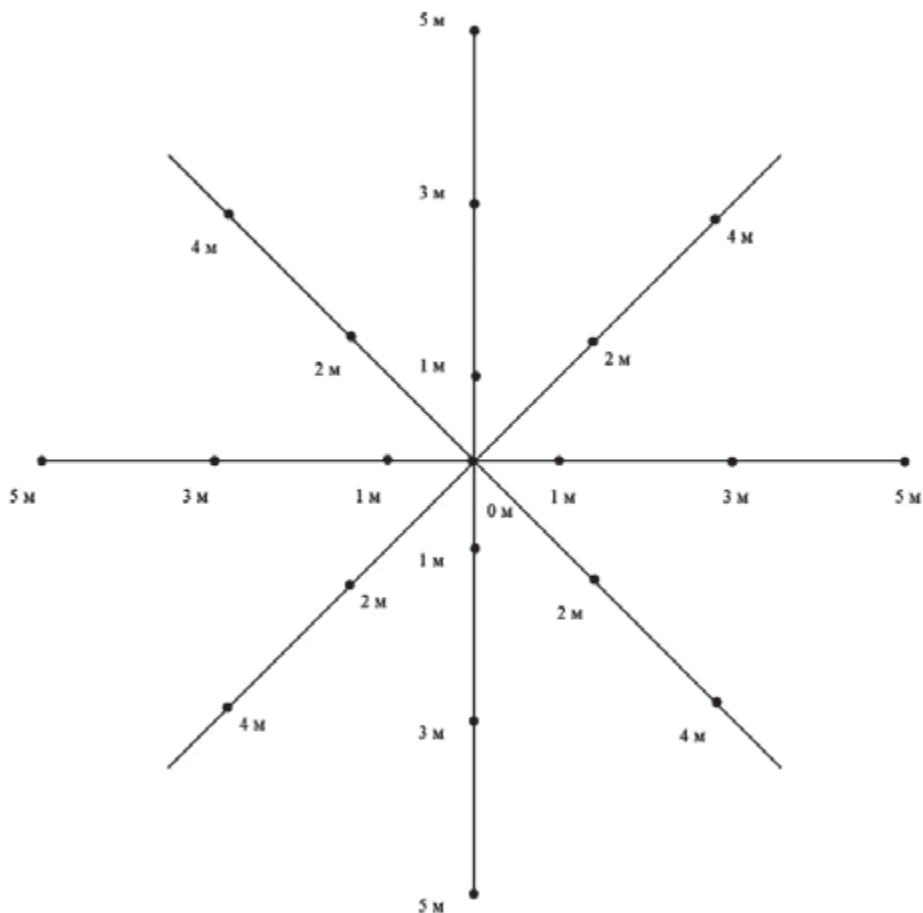


Рисунок 2.11. Схема проведения отбора проб для вычисления коэффициентов перехода



Рисунок 2.12. Отбор проб почвы для вычисления коэффициентов перехода

2.1.2. Методология проведения работ по выявлению объектов, содержащих ОЯД выше установленных критериев

Первоначально, с целью характеристики радиоактивного загрязнения, проводились работы по уточнению четких границ идентифицируемых объектов, для этого был применен метод дискретной гамма-спектрометрической съемки (далее ДГСС).

Данный метод подразумевал проведение гамма-спектрометрических измерений в определенных фиксированных точках при сгущении сети обследования от 5x5 м до 0,5x0,5 м, с целью обеспечения детальности и высокоточной локализации радиоактивного загрязнения. Измерения по такой плотной сети обследования стали возможны вследствие использования высокоточной системы GPS, позволяющей выходить на точку измерения с сантиметровой точностью (Рисунок 2.13).



Рисунок 2.13. Гамма-спектрометрические измерения по сети 0,5x0,5 м

В основном, все измерения проводились на высоте 0,5 м от поверхности почвы [5], но при уплотнении сети до 0,5x0,5 м, измерения проводились при высоте в 0,2 м.

В результате проведения ДГСС получены гамма-спектры, после обработки которых получен массив количественных данных – скоростей счета (cps) по энергиям выхода гамма-квантов – 59,5 кэВ (^{241}Am) и 662 кэВ (^{137}Cs).

Согласно анализу результатов измерений ДГСС определялись места для последующих исследований распределения ОЯД.

Изучение распределения ОЯД в поверхностном слое почвы заключалось в следующем:

- отбор проб на обнаруженных участках радиоактивного загрязнения;
- лабораторные анализы отобранных проб;
- оценка загрязнения на основании результатов полевых и лабораторных исследований.

Схема отбора проб как поверхностного слоя почвы, так и проб почвы для исследования вертикального распределения, на территории площадки «Опытное поле» разрабатывалась индивидуально, с учетом особенностей техногенных объектов, зон/участков с повышенными значениями активности техногенных радионуклидов ^{241}Am и ^{137}Cs (Рисунок 2.14).

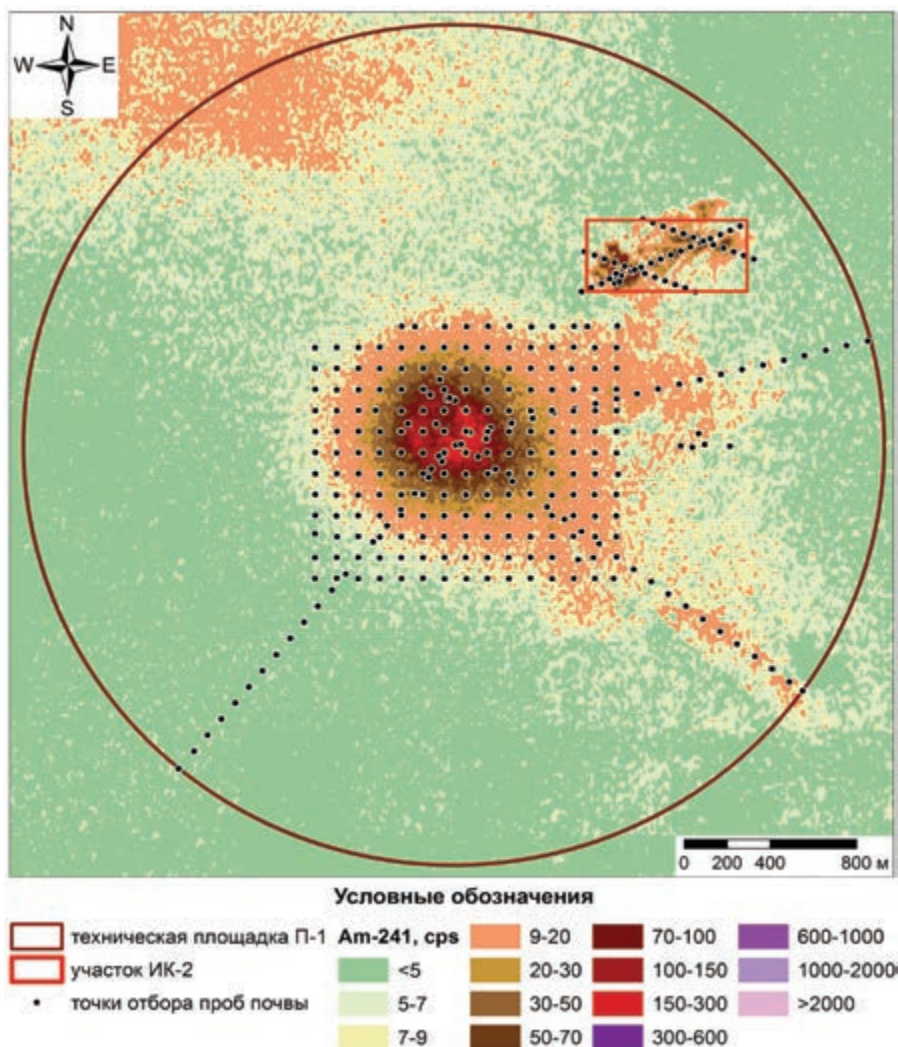


Рисунок 2.14. Разметка точек отбора проб поверхностного слоя почвы.

Пробы поверхностного слоя почвы отбирались точечным методом по выбранной сети обследования с измерением радиационных параметров. Глубина отбора поверхностного слоя почвы для всех проб составляла 5 см (две пробы – 0-2,5 см и 2,5-5 см), площадь отбора – 200 см² [3, 4, 5].

Для исследования вертикального распределения ²⁴¹Am и ¹³⁷Cs по глубине почвенного горизонта отбирались послойные пробы почвы на глубину до 50 см по следующей схеме: глубина первого слоя составила 0-2,5 см, глубина второго – 2,5-5 см, а отбор последующих слоев происходил с шагом 5 см (Рисунок 2.15, Рисунок 2.16) [4, 5].

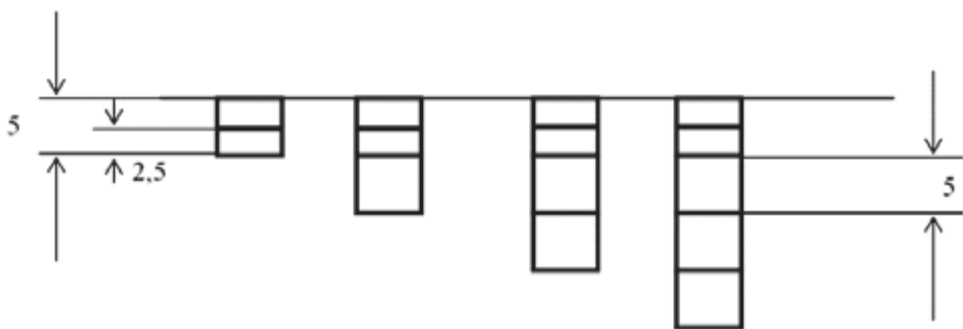


Рисунок 2.15. Схема послойного отбора проб почвы



Рисунок 2.16. Послойный отбор проб почвы

Для таких объектов исследования, как траншеи, колодцы, воронки, «гребни», навалы отбор проб для исследования вертикального распределения техногенных радионуклидов имел свои особенности. Если высота навала составляла менее 1 м, то отбор послойных проб почвы осуществлялся до уровня основной поверхности участка. При высоте навала («гребня») более 1 м отбор проб осуществлялся до максимально возможной глубины. Для отбора проб в траншеях и воронках отбирались послойные пробы, как с использованием обычного инструмента для отбора проб почвы, так и с помощью буровой установки.

Основные лабораторные анализы проводились в аккредитованной лаборатории филиала «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК. Для подтверждения достоверности производимых анализов проводился внешний лабораторный контроль в аккредитованной лаборатории «Института ядерной физики» [4, 5].

Определение активности ^{137}Cs и ^{241}Am проводилось на гамма-спектрометрах с полупроводниковым детектором на основе чистого гер-

мания. Содержание $^{239+240}\text{Pu}$ определялось на основании проведения альфа-спектрометрических измерений с предварительным радиохимическим разложением проб. При этом $^{239+240}\text{Pu}$ определялся для 15% отобранных проб. С помощью масс-спектрометрического анализа определялось содержание ^{233}U , ^{235}U и ^{238}U .

Для объектов со сложным техногенно-нарушенным рельефом, где предполагалось возможность наличия ОЯД на глубине, проводилось бурение исследовательских скважин. Выбор точек для бурения скважин осуществлялся после визуального осмотра объекта и определения его границ (контура). В месте выбранной точки выполнялось определение ее координат и высоты над уровнем моря. Для этого в ней устанавливалась веха с навигационным приемником и производились измерения и запись полученных данных (Рисунок 2.17).



Рисунок 2.17. Объект Т-24. Определение координат точек для бурения скважин

Для проведения измерений, а также других работ по обследованию объектов применялась система высокоточного позиционирования, включающая стационарную базовую станцию, располагающуюся в полевом лагере и передающую поправки сигналов через радиомодем и обеспечивающая сантиметровую точность пространственной привязки положения детектора (Рисунок 2.18).



Рисунок 2.18. Базовая станция EPOCH-50 в полевом лагере

Все исследуемые объекты на момент начала работ представляли собой участки местности со сложным техногенно-нарушенным рельефом – углубления, траншеи, ямы, насыпи, навалы и т.п. Для бурения скважин на них необходимо было подготовить специальные площадки для работы тяжелой буровой техники.

Площадки для бурения скважин планировались по контуру объекта, определенному ранее топографической съемкой. Практически во всех случаях площадка для бурения имела прямоугольную форму или близкую к ней, вне зависимости от того, какую форму имел контур объекта – овал, круг и т.п. (Рисунок 2.19).

В случае, если объекты располагались вблизи друг от друга, то намечалась и готовилась единая площадка для бурения скважин, объединяющая группу объектов (Рисунок 2.20).



Рисунок 2.19. Объект Т-31. Контур площадки для бурения скважин



Рисунок 2.20. Объекты Т-30, Т-34, Т-41.
Контур единой площадки для бурения скважин

Подготовка площадки заключалась в выравнивании (нивелировании) рельефа с использованием «чистого» грунта, с последующим его утрамбовыванием. Для подготовки площадок работ применялась спецтехника – бульдозер, грейдер, прицепной каток.

На подготовленную площадку, по определенным ранее координатам, при помощи системы GPS, выносились точки бурения скважин, которые фиксировались на площадке кольями (Рисунок 2.21).



Рисунок 2.21. Объект Т-5 до и после подготовки площадки для бурения скважин

Бурение скважин проводилось буровой установкой ЛБУ 50-07 на базе автомобиля КамАЗ, на рисунке (Рисунок 2.22) показан общий вид буровой установки.



Рисунок 2.22. Бурение скважин на площадке П-2М

Для вскрытия осадочных пород применялся вращательный способ бурения, с использованием в качестве бурового инструмента шнеков диаметром 135 мм. Суть метода заключается в разрушении осадочных пород породоразрушающим долотом, закрепленном на конце ведущего шнека, по ребордам которого разрушенная порода выносятся на дневную поверхность во время вращения и давления, создаваемого буровой установкой. Углубление скважины производилось путем последовательного наращивания шнеков. В процессе бурения проводились экспресс-измерения поднятого из скважины шнека и грунта на нем при помощи портативного гамма-спектрометра Inspector1000 (Рисунок 2.23).



Рисунок 2.23. Измерение шнека гамма-спектрометром InSpector1000

В случае фиксации высоких значений показаний спектрометра в нижней части шнека, определяющей глубину пробуренной скважины, принималось решение о дальнейшем бурении на большую глубину.

Отбор образцов почвы осуществлялся непосредственно со шнека (Рисунок 2.24), (по 5 см, с шагом 15 см) [4, 5].



Рисунок 2.24. Процесс отбора приповерхностных проб

Принцип отбора пробы заключался в следующем: после измерений активности шнека портативным гамма-спектрометром, шнек условно делился на две зоны – в зоне, где загрязнение, по данным предварительного измерения, отсутствует или незначительно, отбиралась одна проба с шагом 20 см; в зоне шнека, где было выявлено повышение скорости счета гамма-спектрометра (2-х кратное превышение «фона»), пробы отбирались с шагом 10 см. Данный метод позволил более детально характеризовать зону с повышенными концентрациями ОЯД в отличие от зоны с их пониженным содержанием или их отсутствием.

По окончании буровых работ ствол скважины обсаживался обсадной колонной для укрепления ствола скважины (Рисунок 2.25). В качестве обсадной колонны использовалась полипропиленовая труба диаметром 100 мм с толщиной стенок 5 мм. На забойной части колонны монтировалась герметичная заглушка, во избежание попадания грунтовых вод в ствол скважины.

Для определения максимума активности ОЯД, а также их пространственного распределения по вертикальному профилю объекта, дополнительно к отбору и анализу приповерхностных проб, был применен метод гамма-каротажа скважин. Гамма-каротаж скважин проводился с использованием полевой гамма-спектрометрической установки на базе сцинтилляционного детектора LaBr_3 .



Рисунок 2.25. Обсаживание скважины

Суть метода состояла в непосредственных измерениях полевым гамма-спектрометром активности ОЯД в пробуренных скважинах, т.е. детектор гамма-спектрометра опускался в скважину, где проводились измерения. Для характеристики скважины, а в сущности, самого объекта, было применено два вида гамма-каротажа – вертикальный и угловой.

Вертикальный гамма-каротаж предназначался для исследования распределения ОЯД по глубине скважины (объекта). Набор гамма-спектров производился по всему глубинному слою объекта, начиная от поверхности и до дна скважины (Рисунок 2.26) [6].

Если скорость счета импульсов (cps) гамма-спектрометра не превышала 2-х «фоновых» значений (400-500 cps), набор спектров проводился по схеме: 0-5 см - 10-15 см - 20-25 см - 30-35 см и т.д. В процессе измерений пропускался промежуточный между измеряемыми слой, толщина которого составляла 5 см. В случае, когда фиксировалось повышение скорости счета гамма-импульсов, измерения проводились без пропуска слоя, т.е. по всему вертикальному профилю. Например, 240-245 см; 245-250 см; 250-255 см; 255-260 см и т.д. Это позволяло характеризовать зону, содержащую ОЯД очень детальным образом (Рисунок 2.27).



а)



б)

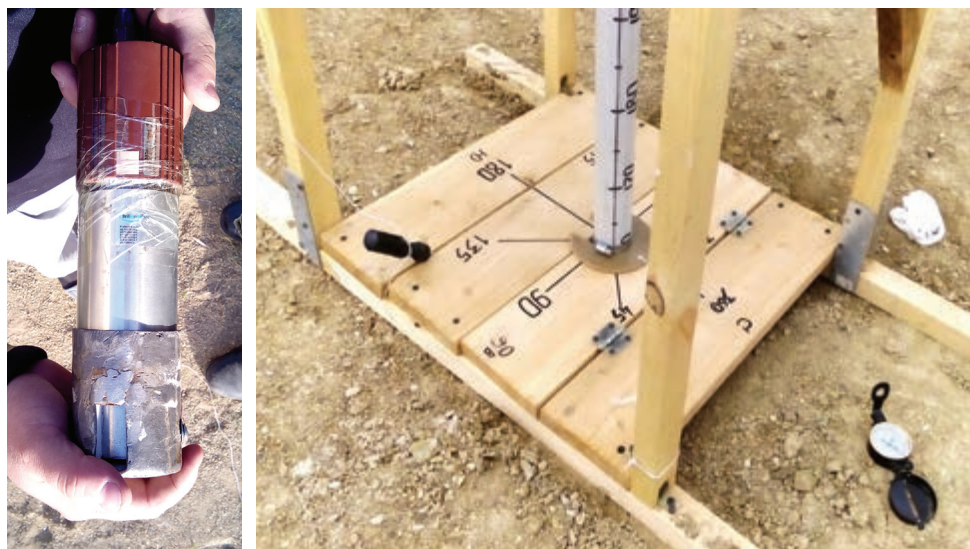
Рисунок 2.26. Проведение вертикального гамма-каротажа: а) детектор для вертикального гамма-каротажа; б) установка для вертикального гамма-каротажа



Рисунок 2.27. Вертикальный гамма-каротаж

После определения характера распределения ОЯД по глубине проводился угловой гамма-каротаж. Угловой гамма-каротаж предназначался для определения направления расположения области максимальных концентраций ОЯД. Другими словами, если во время измерений в скважине при равномерном повороте детектора вокруг вертикальной оси, в каком-либо направлении фиксировалось повышение скорости счета импульсов, то предполагалось, что в этом направлении находится эпицентр испытания, или, как минимум, область повышенных концентраций ОЯД. Следовательно, необходимо сосредоточить внимание на этом направлении, для чего возможно провести дополнительное буре-

ние, отступив 2-3 м от текущей скважины в указанном направлении. Угловой гамма-картаж выполнялся только в тех скважинах, в которых были зафиксированы повышенные значения активности ^{241}Am по результатам вертикального гамма-картажа (Рисунок 2.28).



а)

б)

Рисунок 2.28. Проведение углового гамма-картажа:

а) детектор для углового картажа; б) установка для углового гамма картажа

Общая схема проведения углового картажа выглядела следующим образом: детектор опускался на глубину, где в результате вертикального гамма-картажа был выявлен максимум концентрации ОЯД. После первого измерения, детектор поворачивался на 45° по часовой стрелке, и измерения повторялись, и т.д. по 9 основным направлениям азимута - 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 215° , 270° , 315° , а по азимуту 360° проводилось контрольное измерение, совпадающее по направлению с первоначальным, т.е. с 0° (Рисунок 2.29). Время измерения на каждой отметке составляло 100 с.

Также стоит отметить, что работы по гамма-картажу производились не только в теплые времена года, но и зимой. Для этого специально была разработана и изготовлена передвижная палатка (Рисунок 2.30).

Таким образом, применяемый на обследуемых объектах гамма-картаж позволял не только определить распределение ОЯД по глубине (вертикальный гамма-картаж, но и определить горизонтальное направление повышения концентрации ОЯД (угловой гамма-картаж).

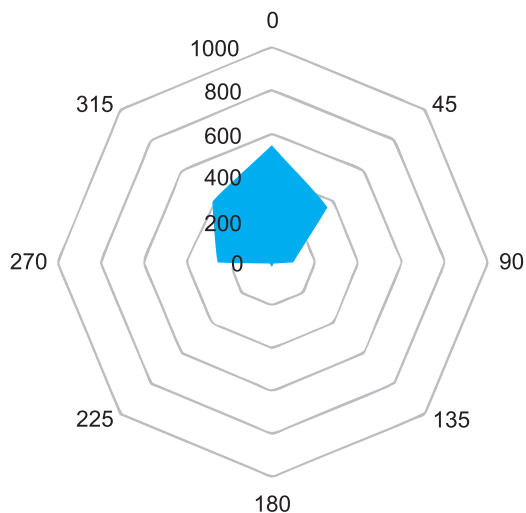


Рисунок 2.29. Распределение активности ^{241}Am по результатам углового гамма-каротажа



Рисунок 2.30. Проведение гамма-каротажа зимой

Критерии проведения работ с выявленными ОЯД были выработаны консультантами и экспертами АПУУ из Лос-Аламосской Национальной лаборатории. Для принятия дальнейших решений по усилению безопасности было принято два критерия содержания ОЯД – от 1 ppm до 8 ppm и выше 8 ppm, данные ОЯД могут представлять серьезную угрозу ядерной безопасности.

2.2. Результаты обследования

Основной целью обследования площадки «Опытное поле» и прилегающей к ней территории было выявление всех объектов, содержащих ОЯД, и представляющих опасность с точки зрения распростра-

нения оружия массового поражения, а также получение достоверной информации об уровнях ОЯД.

В результате проведения обследования территории «Опытного поля», в общей сложности было пройдено более 18 тысяч пог. км, получены и проанализированы более 2 миллионов гамма-спектров.

Площадное радиационное обследование позволило охарактеризовать распределение техногенных радионуклидов на территории площадки «Опытное поле» и прилегающей к ней территории (Рисунок 2.31, Рисунок 2.32).

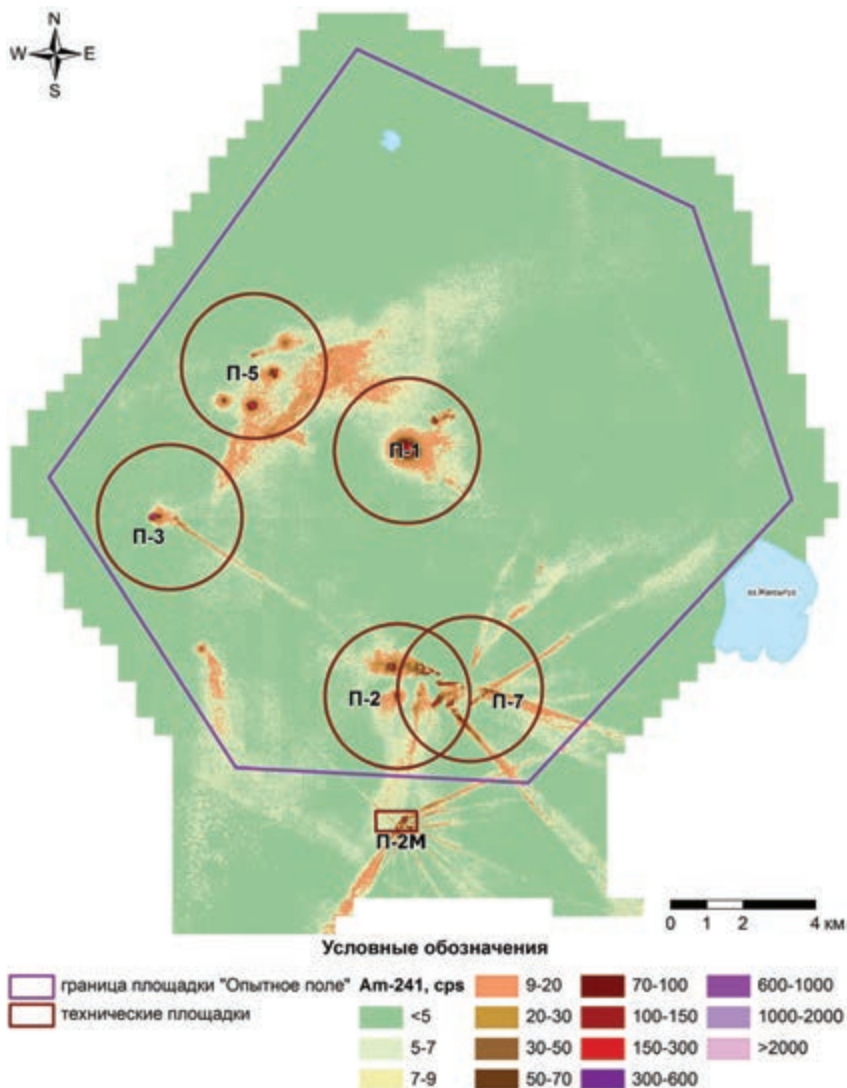


Рисунок 2.31. Распределение ²⁴¹Am на площадке «Опытное поле»

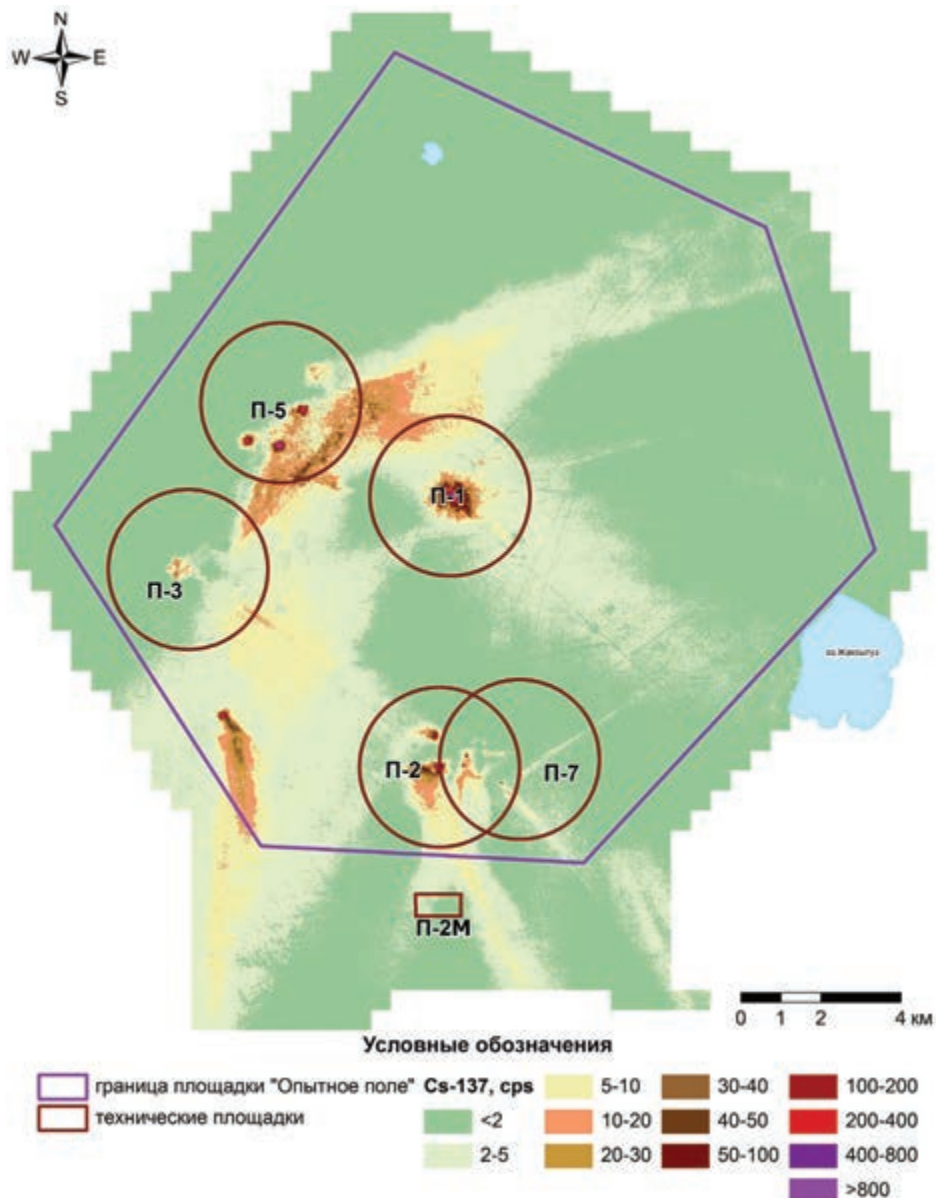


Рисунок 2.32. Распределения ^{137}Cs на площадке «Опытное поле»

При анализе карт распределения ^{241}Am и ^{137}Cs можно судить о том, что поверхностное радиоактивное загрязнение почвы характеризуется отдельными локальными участками. В случаях с наземными ядерными испытаниями малой и сверхмалой мощности радиоактивное загрязнение, в своей основе, локализовано в пределах испытательных площадок,

однако при проведении ядерных испытаний средней и большой мощности радиоактивное загрязнение фиксируется за пределами технических площадок (Рисунок 2.32).

Для более детального представления о проведенных исследованиях, необходимо отдельно рассмотреть каждую техническую площадку «Опытного поля», а также ряд участков, территориально не относящихся к ним.

2.2.1. Техническая площадка П-1

Данная техническая площадка является самой старшей среди всех технических площадок, на ней было проведено самое первое в СССР ядерное испытание (29.08.1949 г. – 22 кт), а также самое мощное наземное испытание (12.08.1953 г. – 400 кт). При анализе площадки П-1 с точки зрения площадного распределения основных техногенных гамма-излучающих радионуклидов (^{241}Am и ^{137}Cs), прослеживается неравномерное радиоактивное загрязнение (Рисунок 2.33, Рисунок 2.34).

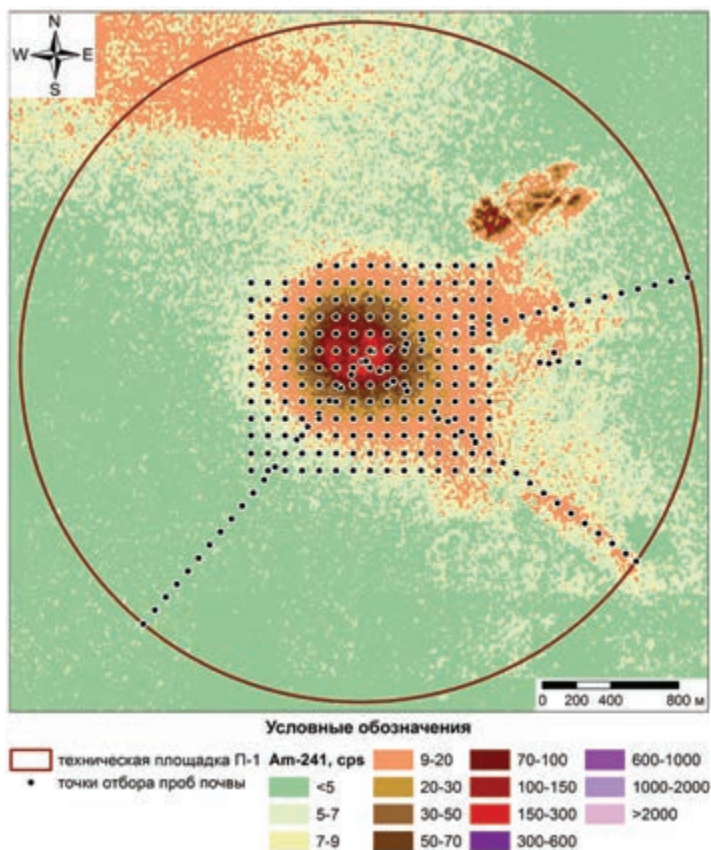


Рисунок 2.33. Распределение ^{241}Am на территории технической площадки П-1

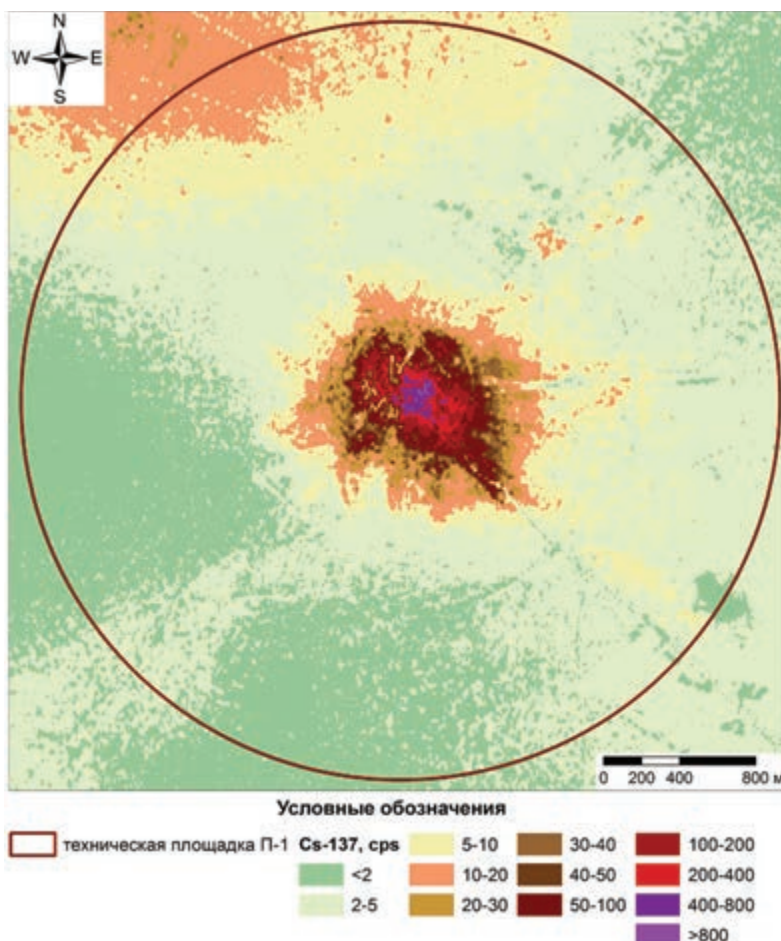


Рисунок 2.34. Распределение ^{137}Cs на территории технической площадки П-1

Основным гамма-излучающим радионуклидом является ^{137}Cs , основная часть которого сконцентрирована в эпицентральной зоне, также прослеживаются следы радиоактивных выпадений, сконцентрированные в северной, северо-восточной, восточной и юго-восточной частях территории площадки П-1. Распределение же ^{241}Am характеризуется проявлением незначительных концентраций в эпицентральной зоне и на периферии. Для установления качественных и количественных характеристик радионуклидного загрязнения производился отбор проб в эпицентральной зоне, а также в юго-восточном, юго-западном и северо-восточном направлениях (предполагаемых направлениях трех следов радиоактивных выпадений). Анализируя результаты лабораторного, гамма-спектрометрического анализа, было резюмировано, что для

эпицентральной зоны технической площадки П-1 характерно преобладание концентрации ^{137}Cs , тогда как концентрация ^{241}Am незначительна. Диапазон удельной активности для ^{241}Am составил от $<1,6$ до $n \times 10^3$ Бк/кг, ^{137}Cs – от $<1,2$ до $n \times 10^5$, $^{239+240}\text{Pu}$ – от 37 до $n \times 10^5$. Среднее значение отношения $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ в пробах грунта составляет $10,6 \pm 0,5$. Анализ лабораторных данных послойных проб почвы показал, что более 90% ОЯД сосредоточено в верхнем 10-сантиметровом слое. Однако, в ряде случаев, имелись точки отбора проб, расположенные как в районе эпицентра, так и на периферии, где распределение радионуклидов по глубине являлось крайне неравномерным, а в ряде случаев резко повышалось с глубиной. Данная особенность показала, что перераспределение радионуклидов по глубине в эпицентре могло произойти в результате антропогенного воздействия после первых испытаний, связанного с рекультивацией территории.

На северо-западе эпицентральной зоны наблюдается область снижения уровня радиоактивного загрязнения ^{137}Cs , что подтвердилось результатами лабораторных исследований проб почвы (Рисунок 2.35).

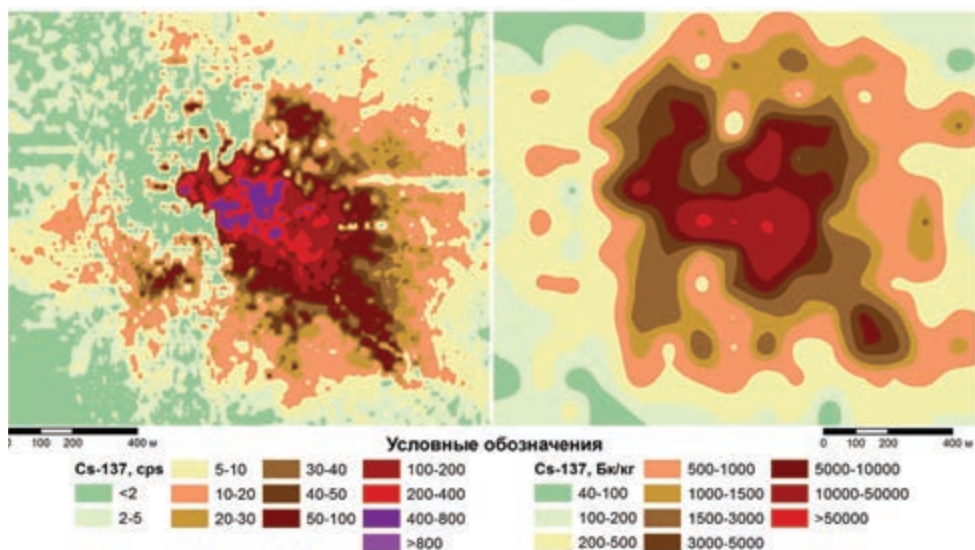


Рисунок 2.35. Результаты совместных данных пешеходной гамма-спектрометрической съемки и лабораторных анализов эпицентральной области площадки П-1

Данный факт косвенно подтверждает предположение о возможном проведении ремедиационных и восстановительных работ в эпицентральной зоне П-1 после ядерных испытаний.

Масс-спектрометрический анализ проб почвы показал, что валовое содержание урана достигает нескольких единиц ppm, при содержании ^{235}U в пределах 0,72-1,23%. Среднее относительное содержание ^{235}U в почве на территории площадки П-1 составило 0,80%, что близко к природному происхождению урана. Выявлены три точки с примесью техногенного ^{235}U с уровнем обогащения по ^{235}U - 1,0-1,23% [5].

По результатам обследования технической площадки П-1 не установлено ни одного объекта, превышающего критерии.

2.2.2. Техническая площадка П-2, П-7

На технических площадках П-2 и П-7 проводились наземные ядерные испытания. Согласно литературным данным, техническая площадка П-7 также использовалась для осуществления модельных неядерно-взрывных экспериментов, о чем подробно рассказывается в главе 1. Проведение подобных экспериментов привело к образованию небольшого количества «продуктов деления», поэтому радиоактивное загрязнение окружающей среды в ходе их осуществления происходило за счет диспергирования веществ, входящих в состав взрывных устройств.

В результате ПГСС было получено и проанализировано более 500 тысяч гамма-спектров. На основании данных, полученных в ходе проведения анализа, построены карты-схемы площадного загрязнения техногенными радионуклидами ^{241}Am и ^{137}Cs на обследуемых площадках.

Согласно анализу карт распределения техногенных радионуклидов, полученных при проведении ПГСС на площадках П-2 и П-7, было определено, что на их территории имеется ряд локальных областей радиоактивного загрязнения (Рисунок 2.36, Рисунок 2.37).

Были выделены 19 локальных участков, содержащих ОЯД в значимых количествах.

Каждый участок был дополнительно изучен. В ходе изучения определялись следующие параметры:

- распределение радионуклидов на поверхности по более плотной сети;
- распределение радионуклидов по глубине (до 50 см);
- определение изотопных соотношений.

Исследование данных участков по более плотной сети обследования позволило уточнить их границы и распределение ОЯД внутри участков. Для этих целей была проведена ДГСС по сети 10x10 м (для некоторых участков по сети 2x2 м). На основании уточненных данных были отобраны образцы проб почвы для лабораторного анализа.

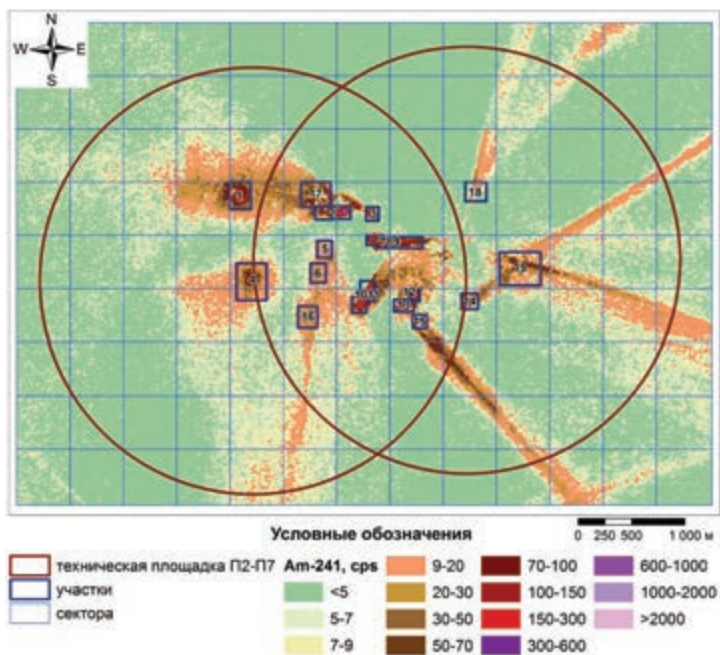


Рисунок 2.36. Распределение ^{241}Am на территории технических площадок П-2, П-7

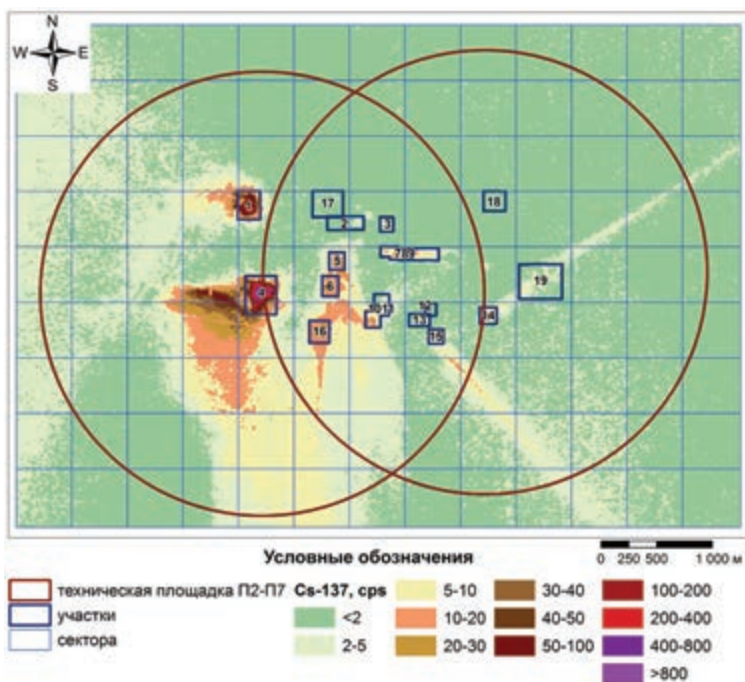


Рисунок 2.37. Распределение ^{137}Cs на территории технических площадок П-2, П-7

По результатам лабораторных анализов были определены изотопные отношения ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$, изучено распределение ^{241}Am по глубине почвенного слоя, а также проведена коррекция результатов полевых гамма-спектрометрических исследований. Анализ лабораторных данных вертикального распределения радионуклидов показал, что, в большинстве случаев, основная часть ОЯД (до 95%) сосредоточена в верхнем 10-сантиметровом слое. Однако, на некоторых участках или в непосредственной близости от них, выявлены кратеры, выброс грунта из которых мог скрыть значительную часть ОЯД. Данное предположение подтверждено результатами исследований распределения радионуклидов по глубине на данных участках, где максимальное количество ОЯД был обнаружено на большей глубине. Среднее значение отношения $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ в пробах грунта составляет $10,6 \pm 0,5$. На основе лабораторных данных определены соотношения $^{241}\text{Am}/^{137}\text{Cs}$, величина которых варьировала в диапазоне 0,05-1700. Невысокие коэффициенты данного соотношения (0,05-30) свидетельствуют о проведении ядерных испытаний с высоким коэффициентом реализации ядерной реакции, в результате которого образовались продукты деления (^{137}Cs и др.), тогда как высокие коэффициенты говорили об испытании ядерных устройств с низким коэффициентом реализации ядерной реакции либо о проведении гидроядерных экспериментов.

При проведении обследования было определено 4 локальных участка, содержащих ОЯД в значимых количествах [4].

Участок 2. Объект обследования представляет собой эпицентральною зону ядерного испытания с низким коэффициентом реализации ядерной реакции, не приведший к значительным нарушениям рельефа, расположен в зоне пересечения технических площадок П-2 и П-7 (Рисунок 2.37). Анализ лабораторных данных показал, что концентрация ^{241}Am достигает значений $n \times 10^6$ Бк/кг, а ^{137}Cs – $n \times 10^3$ Бк/кг. Для обследованного объекта типичен высокий коэффициент соотношения $^{241}\text{Am}/^{137}\text{Cs}$, составивший 960.

Участок 3. Как и предыдущий участок, данный объект представляет собой эпицентральною зону ядерного испытания с небольшим энерговыделением и не поспособствовавший значительным нарушениям земной поверхности, находится в зоне пересечения технических площадок П-2 и П-7 (Рисунок 2.37). Удельная активность ^{241}Am достигает значений $n \times 10^5$ Бк/кг, ^{137}Cs – $n \times 10^3$ Бк/кг. Для данного участка характерен коэффициент соотношения $^{241}\text{Am}/^{137}\text{Cs}$, равный 104.

Участки 12 и 13. Представлены в виде эпицентральных зон ядерных экспериментов с небольшим энерговыделением и также лежат в зоне пересечения технических площадок П-2 и П-7 (Рисунок 2.37). Объекты обследования имеют схожую структуру и были идентифицированы как места реализации либо аварийных экспериментов, либо гидроядерных испытаний, что косвенно подтверждается отсутствием техногенной нарушенности рельефа, характерной для ядерных взрывов, изотопным соотношением, а также наличием высоких концентраций делящихся материалов. Так, удельная активность ^{241}Am достигает значений $n \times 10^7$ Бк/кг, $^{137}\text{Cs} - n \times 10^4$ Бк/кг, концентрации ^{235}U (на участке 12) достигают $n \times 10^4$ Бк/кг. Также для данных участков свойственен крайне высокий средний коэффициент соотношения делящихся материалов и продуктов деления $^{241}\text{Am}/^{137}\text{Cs}$, равняющийся 1700.

Проведенные лабораторные исследования изотопного состава урана на площадках П-2, П-7 показали, что содержание урана на некоторых участках данных площадок вносит существенный вклад в сумму ОЯД. Необходимо отметить, что данные концентрации изотопов урана были выявлены в местах с высокими концентрациями транс-урановых элементов, достигающими $n \times 10^7$ Бк/кг по ^{241}Am и $n \times 10^8$ Бк/кг по $^{239+240}\text{Pu}$.

В ходе обследования территории площадок П-2 и П-7 были обнаружены участки, содержащие ОЯД, которые представляли конструкционные фрагменты разных размеров с высокой активностью ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$, а также ^{235}U . Максимальные значения удельной активности радионуклидов в почве на территории площадок составили для $^{241}\text{Am} - n \times 10^7$, $^{239+240}\text{Pu} - n \times 10^8$, $^{235}\text{U} - n \times 10^4$ Бк/кг. Максимальные концентрации радионуклидов в металлических фрагментах, выявленных на территории площадок П-2 и П-7, насчитывают $^{241}\text{Am} - n \times 10^9$, $^{239+240}\text{Pu} - n \times 10^{10}$, $^{235}\text{U} - n \times 10^5$ Бк/кг.

В результате анализа результатов обследования технической площадки П-2 и П-7 установлено 3 объекта, содержащие ОЯД с концентрацией выше 8 рртм и 1 объект выше 1 рртм.

2.2.3. Техническая площадка П-3, П-5

Технические площадки П-3 и П-5 предназначались, в основном, для проведения воздушных ядерных испытаний, однако известно, что на площадках П-3 и П-5 было проведено несколько наземных испытаний (о них упоминается в главе 1). В результате проведения наземных испытаний территория технических площадок подверглась сильному

радиоактивному загрязнению как материалами ядерных зарядов, так и продуктами деления.

По итогам обследования было получено и проанализировано более 290 тысяч гамма-спектров. На основании данных, полученных в ходе проведения анализа, построены карты-схемы площадного загрязнения техногенными радионуклидами ^{241}Am и ^{137}Cs на обследуемых площадках (Рисунок 2.38, Рисунок 2.39).

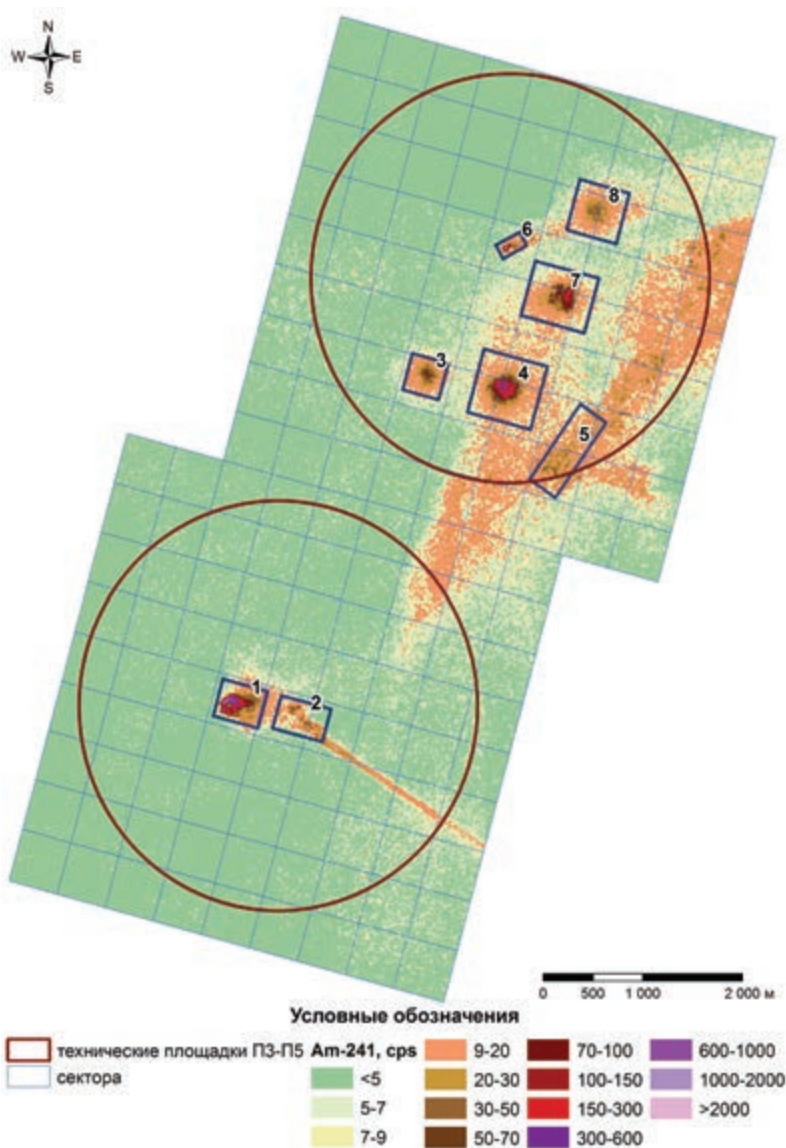


Рисунок 2.38. Распределение ^{241}Am на территории технических площадок П-3, П-5

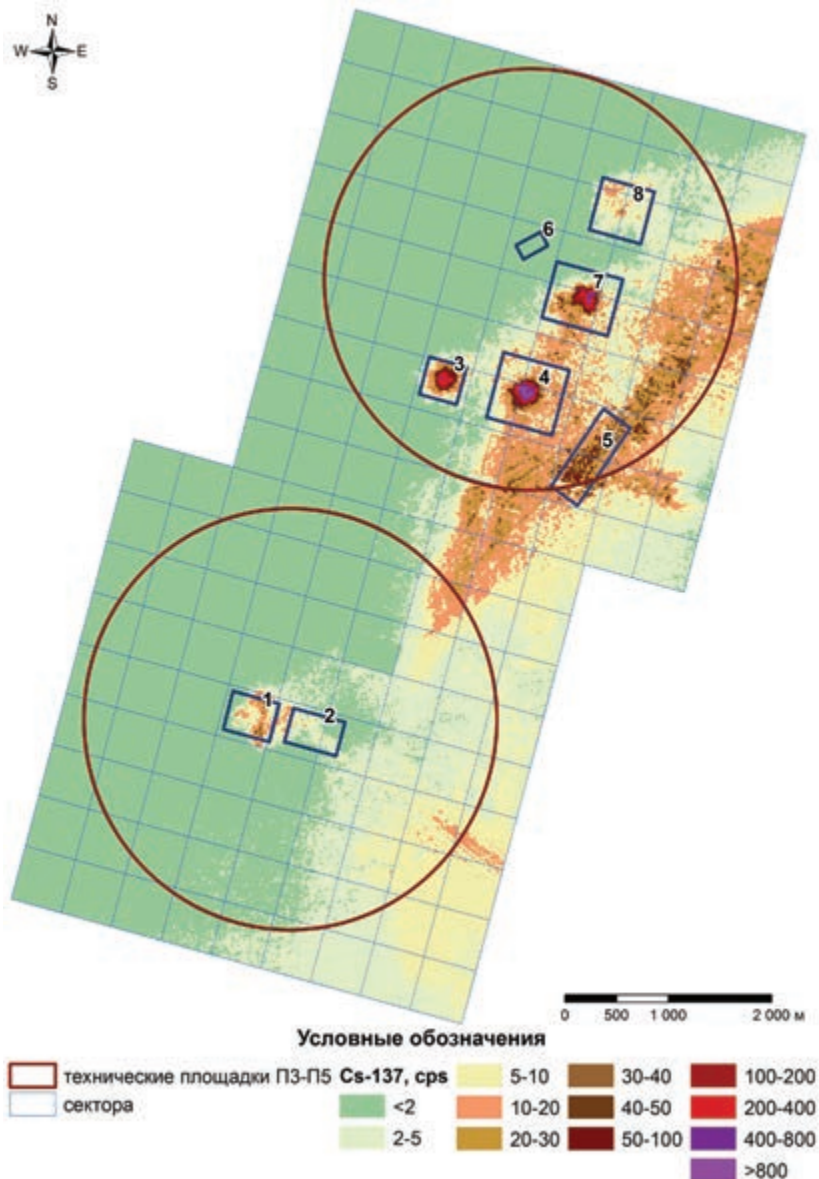


Рисунок 2.39. Распределение ^{137}Cs на территории технических площадок П-3, П-5

Результаты проведенных исследований показали, что основными гамма-излучающими радионуклидами, формирующими радиоактивное загрязнение площадок, являются ^{137}Cs и ^{241}Am . Наличие данных радионуклидов характерно как для эпицентральных зон, так и для следов радиоактивных выпадений [4].

Техническая площадка П-3

На данной технической площадке проводились воздушные испытания малой и средней мощности, не оставляющие явных признаков радиоактивного загрязнения дневной поверхности, а также наземные ядерные испытания, являющиеся основными источниками загрязнения объектов окружающей среды.

В ходе проведения первичного обследования территории площадки П-3 выявлено отсутствие деформации поверхностного слоя почвы, что свидетельствовало о проведении наземных испытаний малой мощности. В результате проведения ПГСС обнаружены 2 участка, представлявшие собой области радиоактивного загрязнения радионуклидами ^{241}Am и ^{137}Cs . На одном из выявленных участков концентрация ^{241}Am достигала $n \times 10^5$ Бк/кг, что предполагало также высокую концентрацию $^{239+240}\text{Pu}$, в связи с чем было проведено дополнительное обследование, заключающееся в гамма-спектрометрических измерениях в фиксированных точках (ДГСС) [3, 4].

Для проведения дополнительного обследования была определена прямоугольная зона размером 1200x700 м, объединившая выявленные при первичном обследовании два участка радиоактивного загрязнения. На выбранную зону была нанесена сеть обследования 10x10 м (Рисунок 2.40).

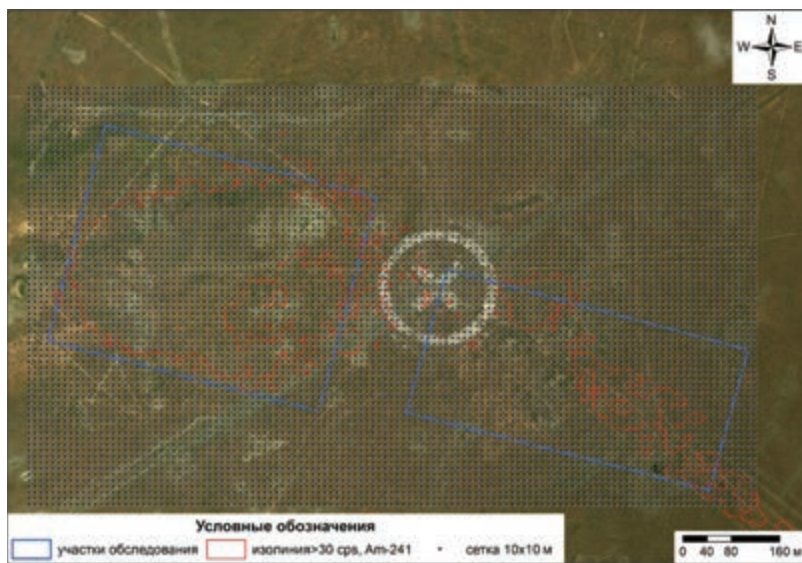


Рисунок 2.40. Схема сети обследования методом ДГСС участка 1 и 2 технической площадки П-3

При проведении дополнительного обследования методом ДГСС установлен четкий контур области максимального радионуклидного загрязнения на участке 1 (Рисунок 2.39). В нескольких точках измерения с наибольшей активностью по ^{241}Am были отобраны пробы грунта на глубину 0-5 см (Рисунок 2.41).

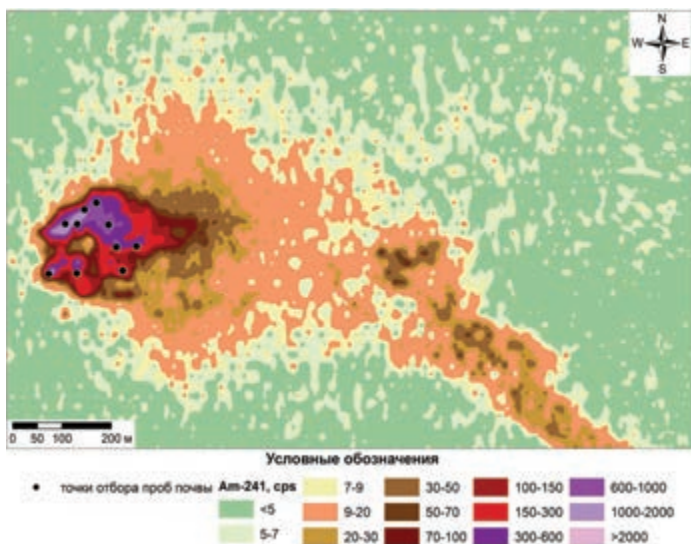


Рисунок 2.41. Схема отбора проб почвы на участке 1 технической площадки П-3

На основании результатов лабораторных анализов были определены изотопные соотношения $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$, исследовано вертикальное распределение ^{241}Am в поверхностном слое почвы. Максимальные значения удельной активности радионуклидов на рассматриваемом объекте составили для ^{241}Am – $n \times 10^5$ Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ – $n \times 10^6$. Среднее соотношение $^{239}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ составило 10. Анализ распределения ОЯД по глубине показал, что, в большинстве случаев, основная часть ОЯД (до 92%) содержится в верхнем 10-ти сантиметровом слое. В районе точки максимума явных следов техногенной деятельности, которые могли бы повлиять на заглобление ОЯД, не обнаружено, следовательно, заглобление ОЯД не ожидалось.

В результате анализа результатов обследования технической площадки П-3 установлен 1 объект, на котором уровни ОЯД превышали 1 ppm [3, 4].

Техническая площадка П-5

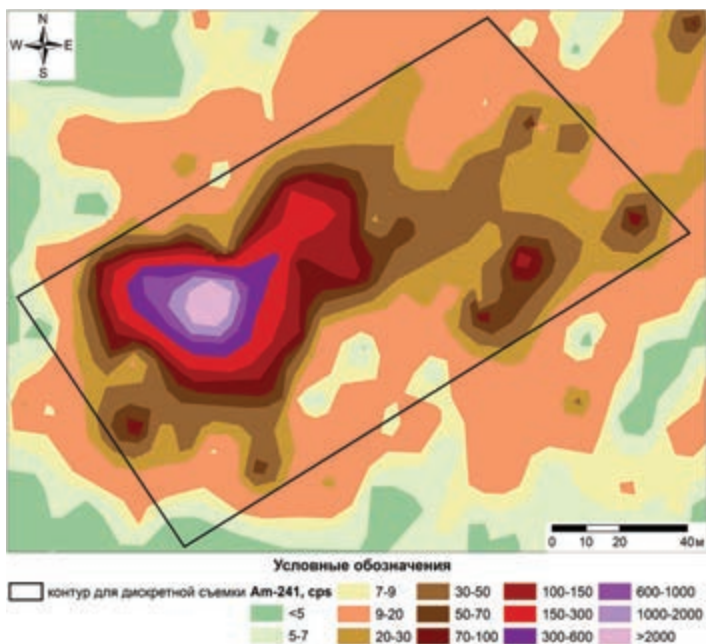
Данная техническая площадка предназначалась для проведения наземных испытаний малой мощности и воздушных испытаний средней и большой мощности.

Анализ данных, полученный при проведении ПГСС в 2012 г., показал, что для территории площадки П-5 характерно наличие областей с различными уровнями радиоактивного загрязнения, в частности, есть области с высоким содержанием ^{241}Am и ^{137}Cs [4].

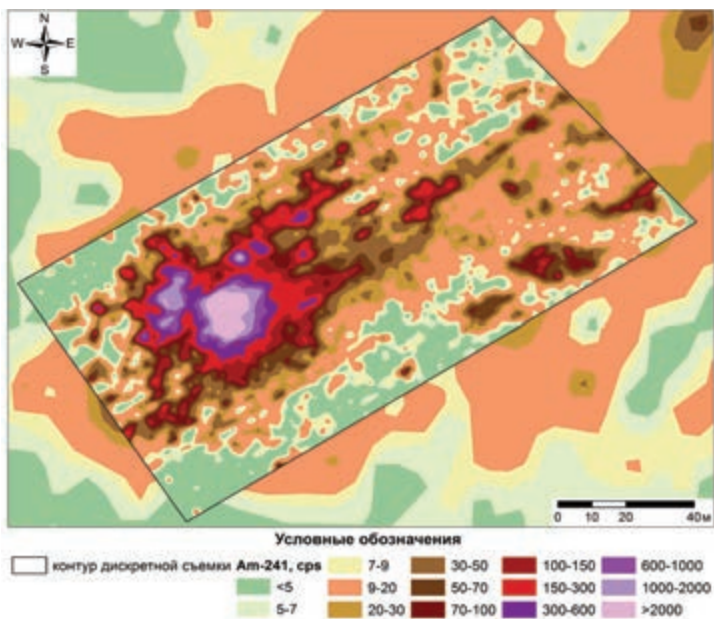
На общем фоне картины радиоактивного загрязнения территории площадки П-5 из 6 выявленных участков выделялся один – участок 6 (в дальнейшем при проведении работ по усилению безопасности данный участок получил название объект «Пандора» Глава 3), характеризующийся резким повышением концентрации ^{241}Am , при концентрации ^{137}Cs на уровне фоновых значений (Рисунок 2.39).

С 2015 г. на территории участка 6 было проведено детальное изучение путем проведения ДГСС по сети 2х2 м, после чего сеть обследования была сгущена до 0,5х0,5 м – более 20 тысяч точек (Рисунок 2.42) [3, 4]. Лабораторный анализ проб почвы показал наличие высоких значений удельной активности ^{239}Pu – до $9,1 \times 10^7$ Бк/кг.

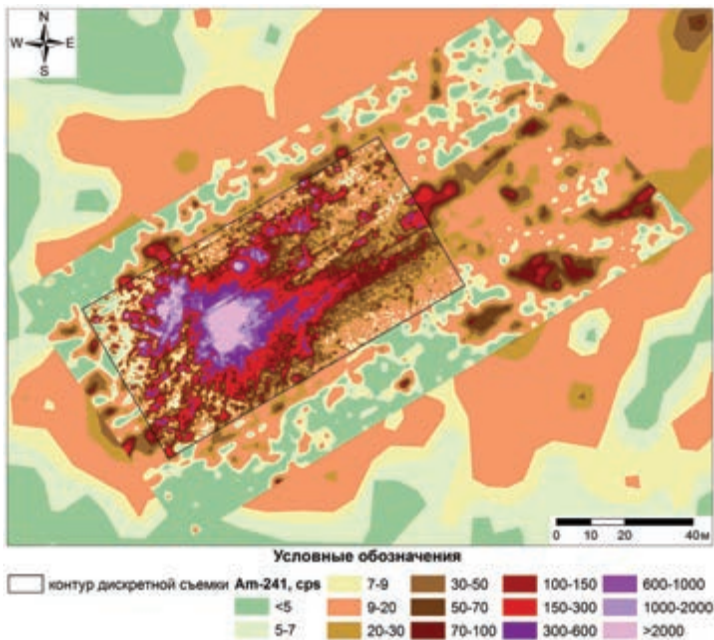
На основании полученных данных было сделано предположение о том, что данный участок являлся местом проведения гидроядерного испытания либо местом проведения ядерного испытания, в ходе которого произошла аварийная ситуация с диспергированием делящихся материалов [4].



а) сеть 20х20 м – 2012 г.



б) сеть 2x2 м – 2015 г.



в) сеть 0,5x0,5 м – 2016 г.

Рисунок 2.42. Карта-схема распределения поверхностной активности ^{241}Am на участке 6 площадки П-5

В результате дополнительного обследования выявлены множественные (более сотни) локальные очаги загрязнения, которые были сформированы в радиоактивные металлические фрагменты размером от нескольких мм до нескольких см (Рисунок 2.43). Максимально зафиксированные фрагменты по размеру превышали 10 см по длинной стороне (Рисунок 2.43).



Рисунок 2.43. Пример выявленных металлических фрагментов

При этом, поверхностное загрязнение этих фрагментов достигало $4,5 \times 10^{10}$ Бк/кг для ^{239}Pu , и $6,6 \times 10^9$ Бк/кг для ^{241}Am , что является крайне высокими значениями для мест проведения ядерных испытаний с нормальным энерговыделением.

В 2016 г. во время работ по изъятию грунта (глава 3.3 Усиление безопасности на технической площадке П-5) было выявлено, что на данной территории максимальные уровни содержания ОЯД находятся в приповерхностном слое грунта глубиной до 4 м. Поэтому было необходимо дальнейшее изучение этого объекта. Разработан план по дальнейшему изучению приповерхностного слоя [6].

Для изучения уровней загрязнения приповерхностного слоя грунта на участке 6 было проведено дополнительное обследование путем бурения 86 скважин на глубину 4 м, отбор проб грунта с бурового шнека и последующим их лабораторным анализом (Рисунок 2.44).

На рисунке (Рисунок 2.45) представлены работы по разметке участка, схема с обозначением точек для бурения скважин, схематичное изображение мест, отведенных под бурение скважин (Рисунок 2.46), а также аэрофотоснимок участка буровых работ (Рисунок 2.47).

Поскольку на обследуемом участке грунты были преимущественно глинистыми, то наиболее простым и достоверным методом отбора являлся отбор проб грунта со шнека. Пробы отбирались по схеме 0-20 см, 20-40 см и т.д., по всему столбу скважины.



Рисунок 2.44. Отбор проб грунта с бурового шнека



Рисунок 2.45. Разметка участка для бурения скважин

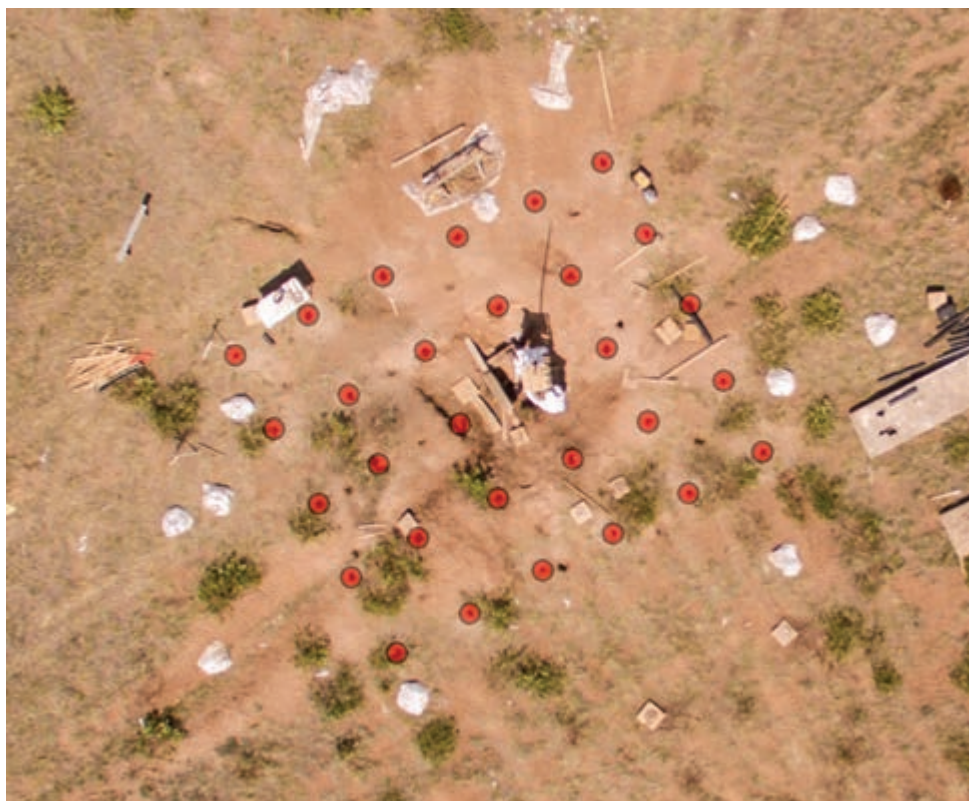


Рисунок 2.46. Схема бурения скважин в эпицентральной зоне участка 6



Рисунок 2.47. Участок буровых работ, 2017 г.

В процессе бурения в нескольких скважинах буровые работы были остановлены на глубине порядка 2 м, т.к. буровой шнек встретил препятствие высокой прочности.

С целью детализации обнаруженного объекта была пробурена дополнительная скважина №86. Пройти данную глубину удалось лишь с использованием инструментов для колонкового бурения (Рисунок 2.48).



Рисунок 2.48. Бурение скважины №86 колонковым инструментом

Во вскрытом интервале от 1,8 до 2,15 м были обнаружены и извлечены различные технологические элементы, представленные обломками кабеля и металла. Наиболее крупным фрагментом являлась металлическая пластина толщиной 1 см (Рисунок 2.49).

Дополнительно, для более детального представления распределения ОЯД на объекте проводился гамма-каротаж пробуренных скважин (Рисунок 2.50).

По результатам проведенных исследований построена трехмерная модель глубинного загрязнения объекта, представленная на рисунке (Рисунок 2.51). Согласно полученным данным, более 90% загрязнения на обследованном объекте сконцентрировано в «цилиндре» диаметром не более 5 м.



а) металлическая пластина толщиной 1 см

б) обрывок кабеля

Рисунок 2.49. Технологические элементы, выявленные в скважины №86



Рисунок 2.50. Проведение гамма-каротажа скважин

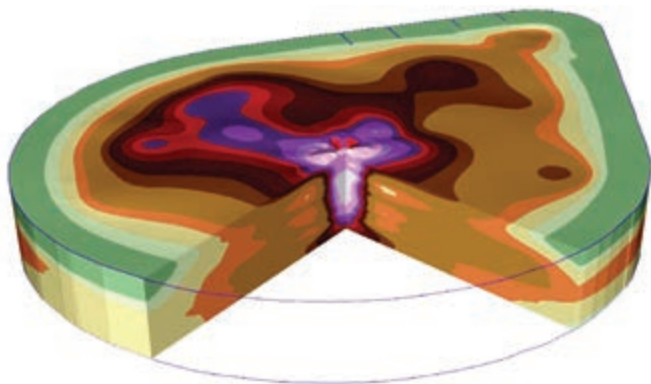


Рисунок 2.51. Распределение ОЯД в приземном слое участка 6

Зона максимального загрязнения (свыше 1 МБк/кг) представляет собой грибообразный столб с максимальной шириной на поверхности и минимальной шириной в глубине (Рисунок 2.51).

Исходя из данных радионуклидного анализа и результатов гамма-спектрометрии, можно сделать вывод, что основными загрязнителями участка 6 являются ^{241}Am и ^{239}Pu . В грунте ряда скважин, расположенных в центральной части участка 6, обнаружен высокообогащенный уран. При этом, массовая доля ^{235}U варьировала в диапазоне от 22 до 89 %. Концентрация урана в грунте одной из пробуренных скважин (на глубине 120-140 см) достигала аномально высоких значений.

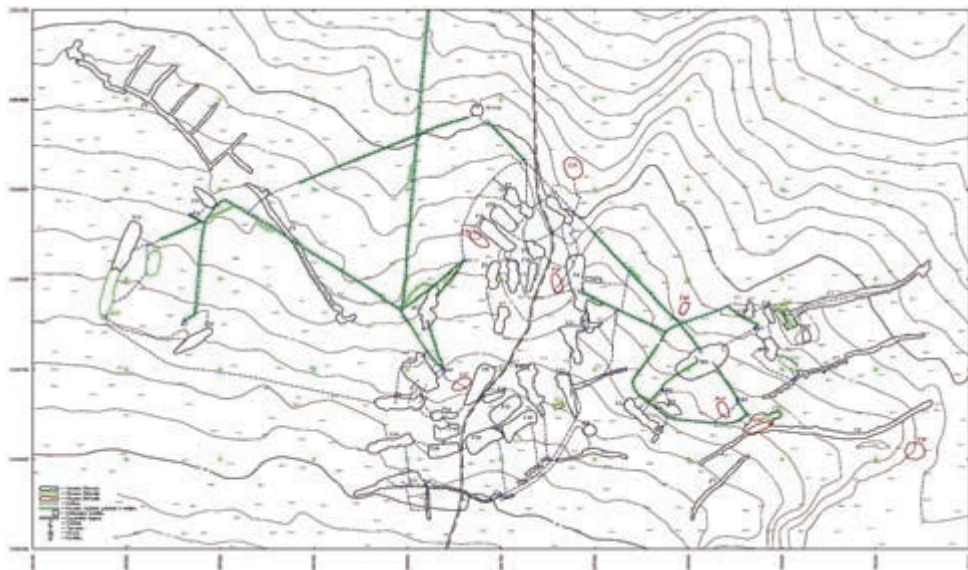
Анализ результатов обследования технической площадки П-5 показал наличие 1 объекта, включающего ОЯД с концентрацией выше установленных критериев.

2.2.4. Техническая площадка П-2М

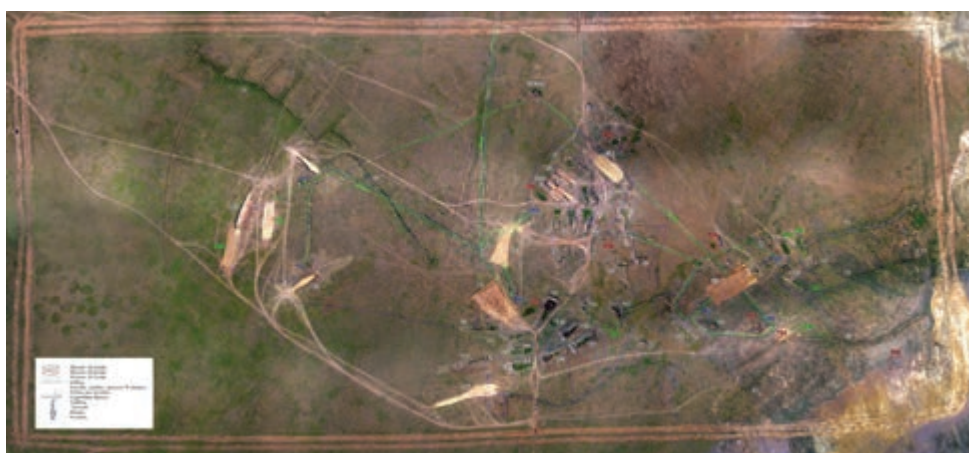
Согласно литературным данным, на технической площадке П-2М (историческое наименование П-2Г) проводились неядерно-взрывные эксперименты. В процессе этих экспериментов ядерное энерговыделение либо практически отсутствовало (гидродинамические), либо не превышало или было сравнимо с энергией химических взрывчатых веществ (гидроядерные) [1]. При проведении гидроядерных экспериментов обеспечивается взрывное сжатие делящегося ядерного вещества с помощью оболочки из химического взрывчатого вещества до такой степени, при которой ядерный заряд теряет свою механическую прочность и начинает вести себя как жидкость. Во время проведения гидродинамических экспериментов исследовались состояния делящихся материалов в области сжатий, реализующихся при взрыве взрывчатых веществ [7]. В ходе

проведения и тех, и других экспериментов образуется существенное радиоактивное загрязнение местности ОЯД.

При проведении камерального дешифрирования на территории площадки были выявлены следы значительной антропогенной деятельности, такие как траншеи, насыпи, гребни и приборные колодцы и т.п. Все обнаруженные объекты были обозначены буквами («Т» – траншеи, «Н» – насыпи, «Г» – гребни, «К» – приборные колодцы) и пронумерованы (Рисунок 2.52).



а) Дешифрованные объекты на топографическом плане



б) Дешифрованные объекты на ортофотоплане

Рисунок 2.52. Результаты дешифрирования на площадке П-2М

Наиболее распространенными антропогенными объектами на территории площадки являлись земляные выемки каплевидной формы – траншеи (котлованы). Траншеи сосредоточены, в основном, в центре технической площадки П-2М (Рисунок 2.53).

По результатам полевого дешифрирования объектов выявлены 41 траншея, 13 насыпей, 7 гребней (Рисунок 2.53). В процессе полевого дешифрирования на 27 траншеях обнаружены признаки рекультивации – отсыпки грунтом с последующим его разравниванием. За десятки лет, прошедшие после выравнивания, на поверхности засыпанных траншей образовались провалы вследствие естественной усадки грунта.



Рисунок 2.53. Расположение траншей на площадке П-2М

При проведении обследования территории испытательной площадки П-2М методом ПГСС было выявлено большое количество участков радиоактивного загрязнения, где основным гамма-излучающим радионуклидом являлся ^{241}Am (Рисунок 2.54, Рисунок 2.55). Анализ результатов измерений, полученных методом ПГСС показал, что участки представляли собой следы радиоактивных выпадений, исходящих из одной области – места расположения эпицентральных зон, представленных в виде траншей (Рисунок 2.55). Данный факт подтверждается официальной информацией о том, что неядерно-взрывные эксперименты проводились преимущественно в углублениях, подробнее об этом говорится в главе 1.

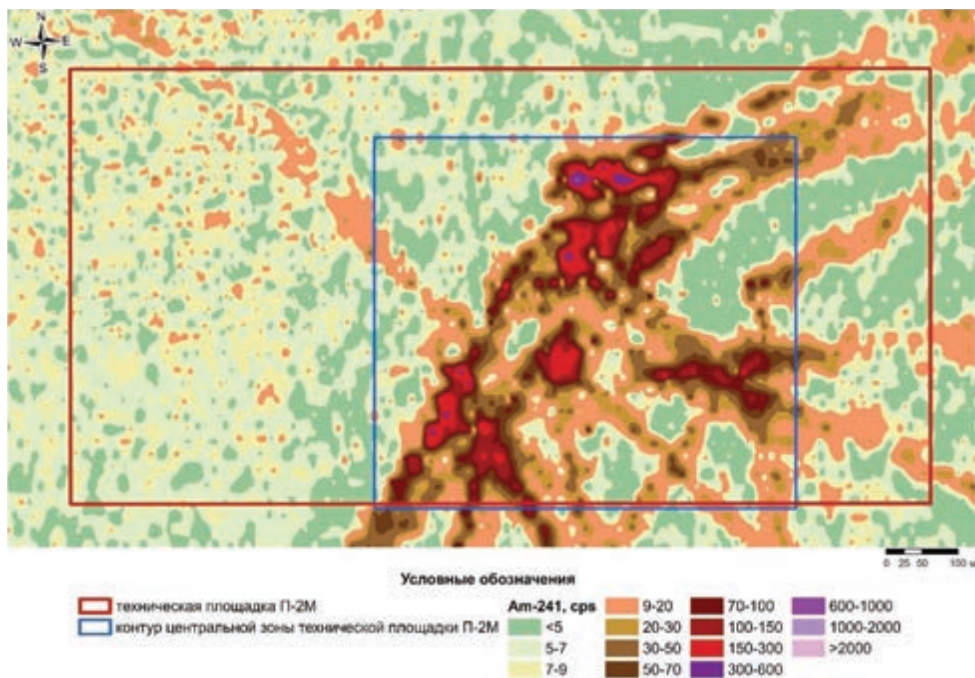


Рисунок 2.54. Распределение ^{241}Am на территории технической площадки П-2М

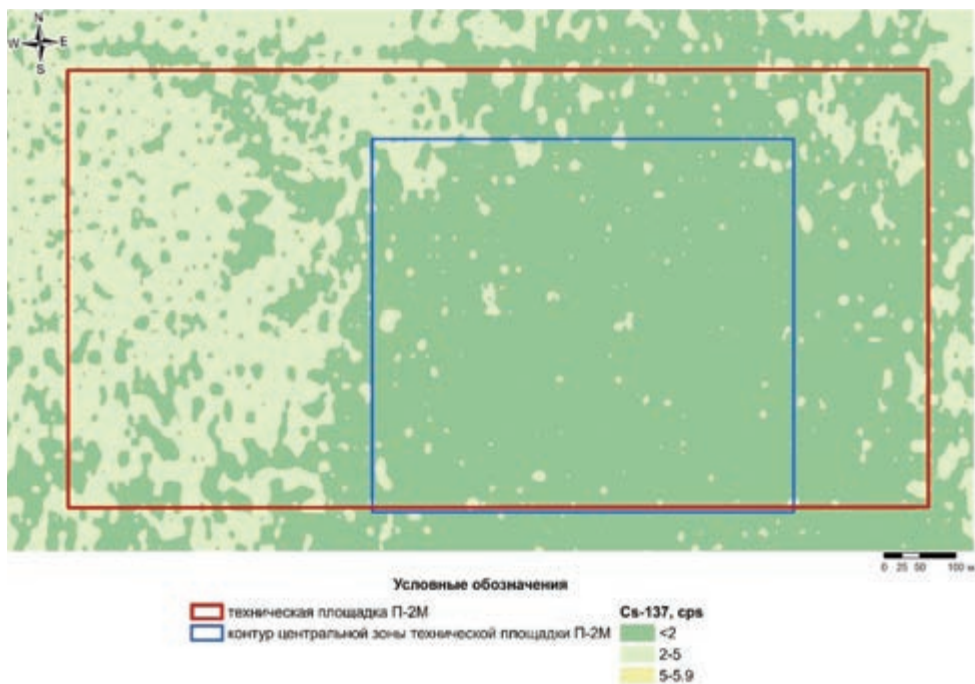


Рисунок 2.55. Распределение ^{137}Cs на территории технической площадки П-2М

Полное отсутствие продуктов деления, за исключением незначительной по активности концентрации ^{137}Cs от следов радиоактивных выпадений, источником которых являются ядерные испытания на технической площадке П-2, позволило предположить, что на данной площадке проводились модельные неядерно-взрывные эксперименты [6].

Детальное обследование центральной зоны площадки осуществлялось методом ДГСС по сети обследования 5×5 м, позднее сеть обследования была сгущена до $2,5 \times 2,5$ м (Рисунок 2.56).

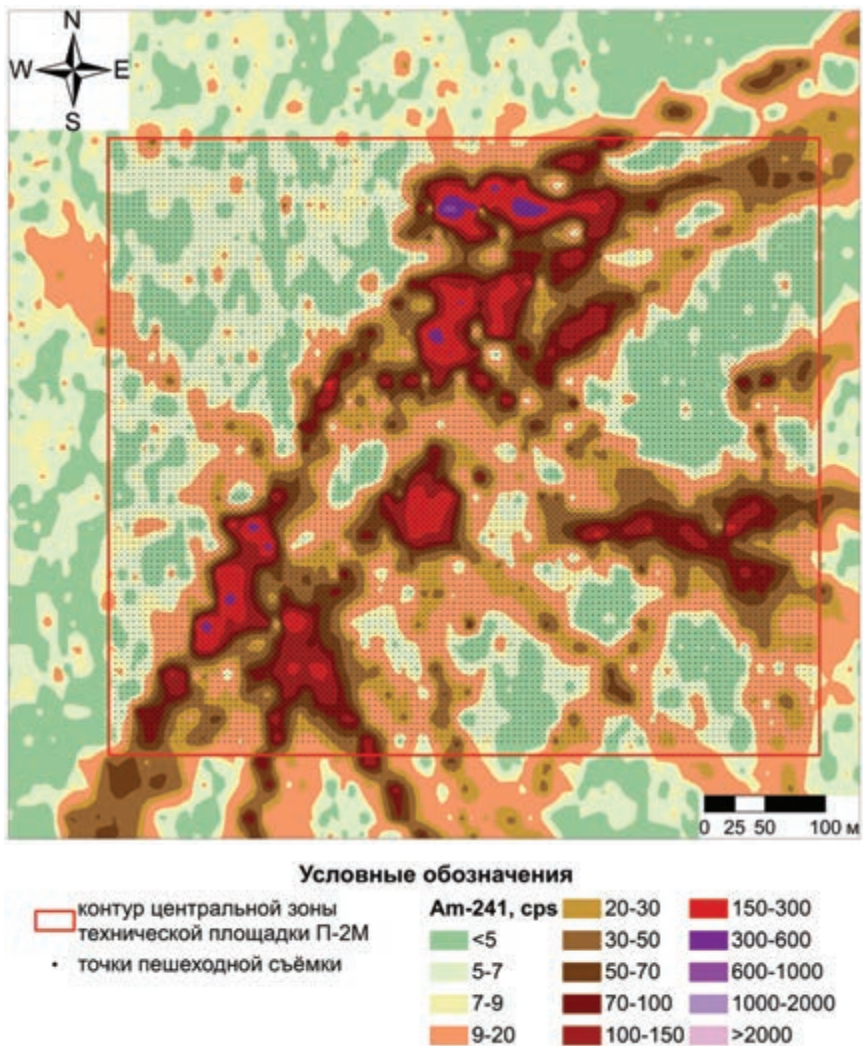


Рисунок 2.56. Схема распределения поверхностного загрязнения ^{241}Am центральной зоны площадки П-2М

Рассматривая следы радиоактивных выпадений установлено, что их длина составляла от 500 м до >4 км. Для большинства следов характерна осевая симметрия, при этом ось следа является практически прямой линией. Вдоль предполагаемой оси каждого следа были отобраны пробы почвы, равномерно распределенные в радиальном удалении от предполагаемого эпицентра (Рисунок 2.57).

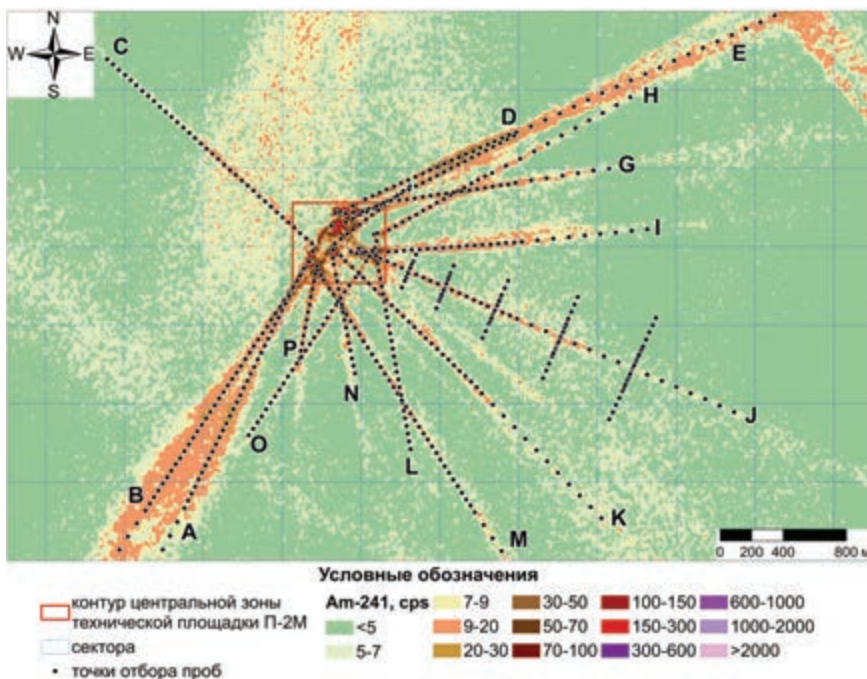


Рисунок 2.57. Схема послыстного отбора проб в радиальном удалении от эпицентров исследуемых объектов

Анализ результатов лабораторных исследований отобранных проб почвы выявил значительное радиоактивное загрязнение окружающей среды трансурановыми элементами $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am .

По результатам ПГСС было определено, что в зонах провалов на поверхности засыпанных траншей были отмечены повышения скорости счета гамма-импульсов с увеличением глубины провала. Данный факт послужил основанием для предположения о том, что часть траншей, после проведения неядерно-взрывных экспериментов, была отсыпана радиоактивно чистым грунтом и основная часть ОЯД сконцентрирована под слоем отсыпанного грунта [3].

Первичное обследование некоторых объектов показало, что в траншеях на глубине от 160 до 245 см под грунтовой отсыпкой присутствуют

высокие концентрации ^{241}Am , достигающие $n \times 10^5$ Бк/кг, что на 2 порядка превышает концентрацию данного радионуклида в поверхностном слое. С учетом того, что средний коэффициент отношения $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ равен примерно 10, было предположено, что количество $^{239+240}\text{Pu}$ под земляной отсыпкой в котлованах могут достигать $n \times 10^6$ Бк/кг и более [5].

При дальнейшем обследовании траншей установлено, что наиболее вероятным местом появления высоких концентраций ОЯД являлось место максимальной ширины траншеи. Уровни удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ в таких местах достигали $n \times 10^7$ Бк/кг. Значительное заглубление основной части радиоактивного загрязнения в траншеях подтвердило предположение о проведении ремедиационных мероприятий – места проведения гидроядерных испытаний отсыпались чистым грунтом.

Следующим этапом стало проведение работ по приповерхностному обследованию технической площадки П-2М с целью детализации радиоактивного загрязнения траншей. Для этого были пробурены 655 скважин на глубину до 4 м, проведены исследования скважин с использованием метода гамма-каротажа и послойный отбор проб почвы.

Объект Т1. Расположен в северной части площадки П-2М, имеет каплевидную вытянутую форму с наличием провалов по оси объекта и насыпей по его периметру. С течением времени, вдоль оси, и, особенно, в «головной» части траншеи, образовались земляные провалы. Было предположено, что заряд для проведения неядерно-взрывного эксперимента устанавливался в точке максимальной ширины траншеи (Рисунок 2.58).

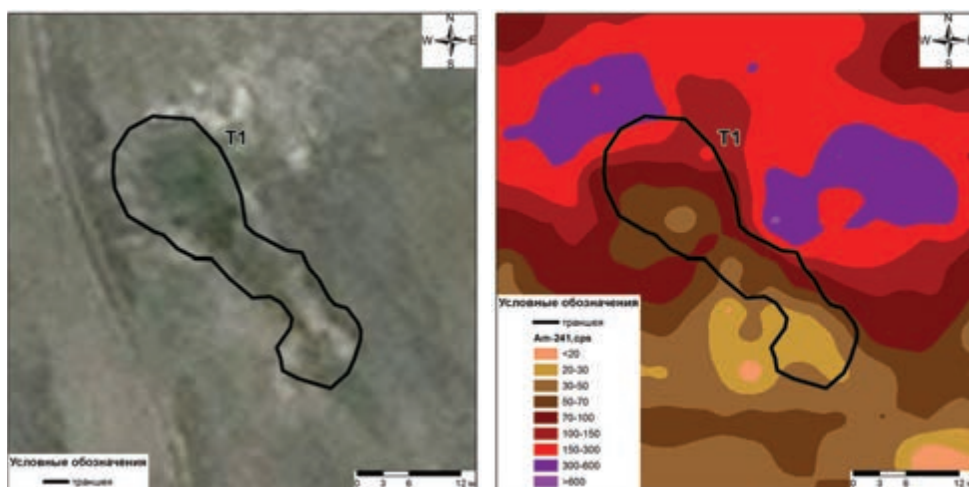


Рисунок 2.58. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте Т1

При проведении обследования на территории траншеи были пробурены основные и дополнительные скважины (Рисунок 2.59).

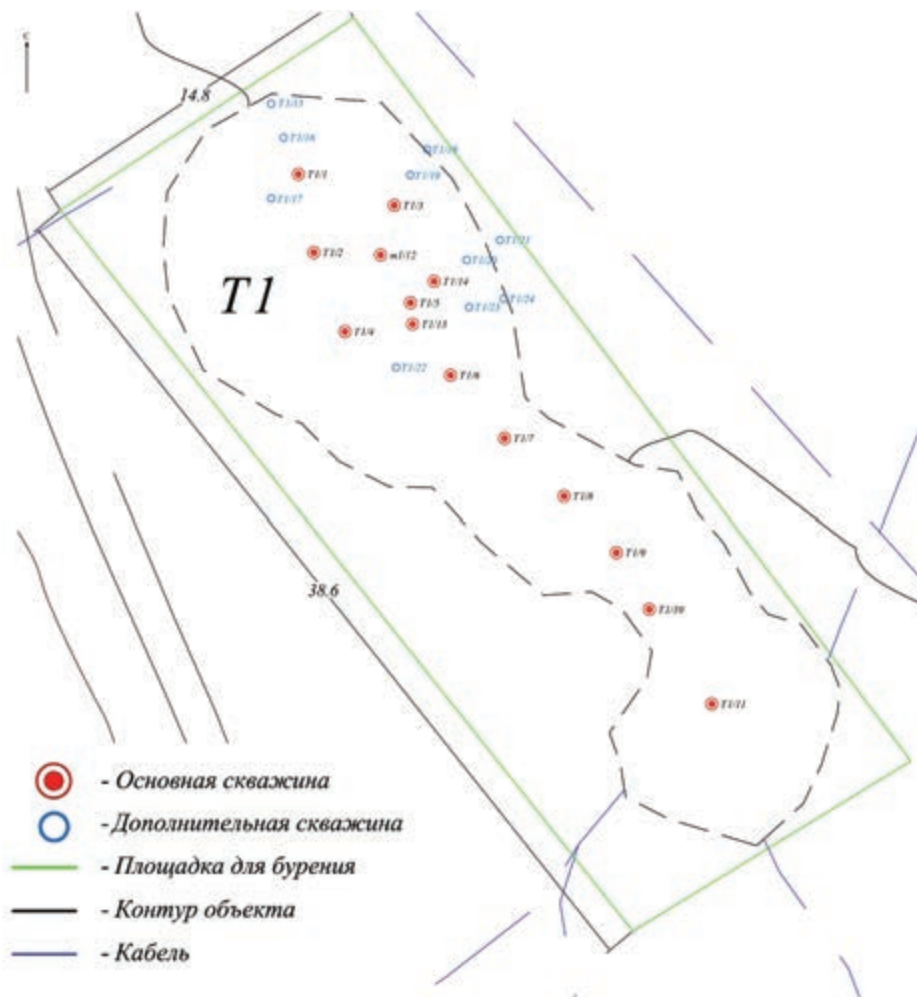


Рисунок 2.59. Схема бурения скважин на объекте Т1

Гамма-каротаж был проведен на 14 разведочных скважинах с целью характеристики глубинного распределения загрязнения и выявления зоны максимума. Во всех 14 скважинах был проведен угловой гамма-каротаж с целью определения направления максимумов скорости счета гамма-импульсов. Дополнительно был проведен угловой каротаж еще на 10 скважинах для уточнения ранее полученных данных. Также был произведен отбор проб и проведены необходимые лабораторные анализы.

Анализ результатов измерений, полученных с помощью вертикального гамма-каротажа показал, что наличие ОЯД отмечено как в верхнем слое объекта (50-80 см), так и в нижнем слое на глубине до 350 см. Первый слой радиоактивного загрязнения связан с тем, что до отсыпки чистым грунтом объект Т1 имел существенное поверхностное загрязнение, возникшее в результате проведения поверхностных неядерно-взрывных экспериментов в непосредственной близости. Глубинное загрязнение обусловлено проведенным экспериментом на объекте Т1 и находится на значительной глубине. По результатам углового гамма-каротажа на основных скважинах было предположено, что зона максимальной концентрации ОЯД располагается в окрестностях скважины 5, после чего были пробурены дополнительные скважины (Рисунок 2.59). Общее количество основных и дополнительных скважин составило 14 и 10 шт. соответственно. Максимальная глубина залегания ОЯД соответствует «головной» части траншеи, а минимальная – «хвостовой» и плавно изменяется вдоль оси объекта. Результаты исследования косвенно подтверждают то, что объект до проведения эксперимента был вытянутой каплевидной формы и, по форме и размерам, соответствовавший типичным объектам «Т» площадки П-2М.

Изучение результатов лабораторных измерений показало, что концентрация ^{241}Am в поверхностном слое глубиной 0-90 см достигает $n \times 10^4$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^3$ Бк/кг. На основании результатов лабораторных анализов были определены изотопные соотношения $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$, характерные для обследуемого объекта, а среднее значение данного соотношения равно $5,8 \pm 0,2$. Содержание суммы изотопов урана в анализируемых образцах почвы достигает десятков ppm, при среднем кларковом содержании 2,7 ppm, что явно свидетельствует о наличии привнесенного урана на объекте Т1. Стоит отметить, что превышение кларкового содержания происходит за счет высокого содержания ^{238}U , а среднее содержание ^{235}U соответствует 0,52%, которое меньше природного соотношения, равного 0,70%. Таким образом, это свидетельствует о наличии обедненного урана на обследуемой траншее.

Объект Т2. Объект расположен на севере площадки П-2М, в непосредственной близости к эпицентральной зоне неядерно-взрывных экспериментов (Рисунок 2.60). По результатам поверхностного обследования было определено, что распределение ^{241}Am является неоднородным (Рисунок 2.60).

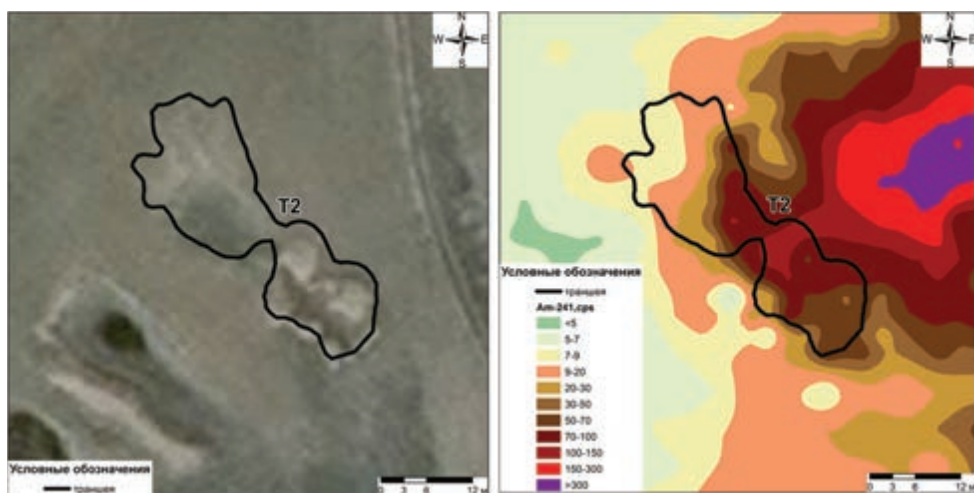


Рисунок 2.60. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте Т2

Схема бурения основных и дополнительных скважин при обследовании объекта Т2 представлена на рисунке (Рисунок 2.61).

Вертикальный гамма-каротаж был проведен на 8 скважинах с целью выявления картины глубинного распределения и установления зоны нахождения максимальной концентрации ОЯД. В результате проведения данного вида исследований были выделены несколько скважин с максимальными концентрациями ОЯД, находящимися в окрестности «головной» части траншеи.

Анализ данных, полученных с помощью гамма-каротажа, показал, что наиболее загрязненной областью является «головная» часть траншеи, где концентрации ОЯД достигают сотен тысяч Бк/кг. Изучение данных углового гамма-каротажа показало, что зона максимальной концентрации ОЯД сконцентрирована в окрестностях скважин 1-5.

Полученные в ходе исследования данные подтвердили информацию первичного обследования – повышенные концентрации ОЯД отмечаются как в поверхностном слое, что может быть связано с проведением серии наземных неядерно-взрывных экспериментов на поверхности земли (не в траншеях), так и в глубине, под отсыпкой из чистого грунта. Глубинное загрязнение в «головной» части траншеи Т2 сосредоточено на уровне до 3 м относительно земляной отсыпки и достигает сотен тысяч Бк/кг по ^{241}Am .

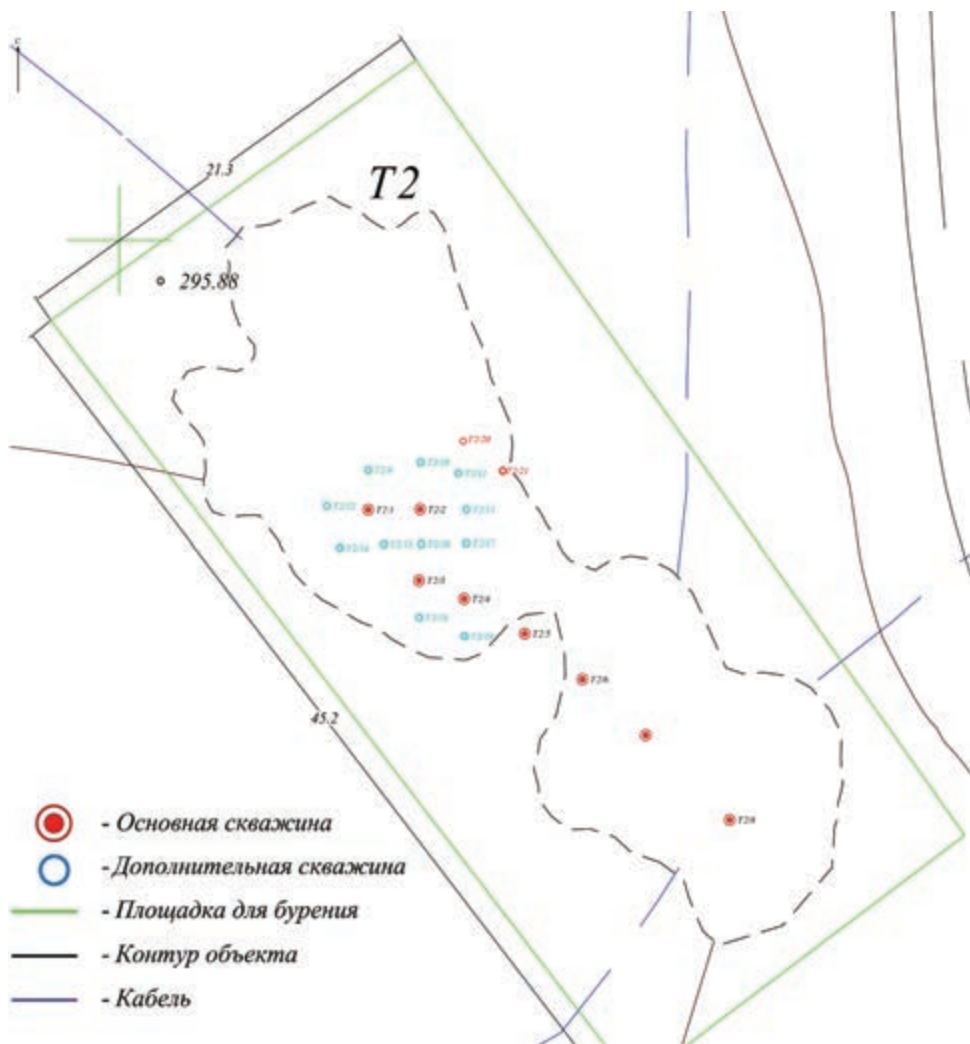


Рисунок 2.61. Схема бурения скважин на объекте T2

Анализ данных спектрометрических измерений показал, что концентрация ^{241}Am достигает значений $n \times 10^5$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^6$ Бк/кг. Также, на основании результатов измерений были рассчитаны изотопные соотношения $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$. Среднее значение соотношения на обследуемом объекте равно $7,9 \pm 2,3$. Содержание суммы изотопов урана в почве варьирует в широком диапазоне и достигает десятков ppm. Превышение среднего кларкового содержания суммы изотопов урана говорит о явных признаках наличия привнесенного урана на исследуемом объекте. Анализ полученных данных показал, что на мак-

симальной глубине был зарегистрирован обедненный уран, а ближе к поверхности наблюдается крайне незначительная степень обогащения, что подтверждает различные источники загрязнения глубинного и поверхностного слоев почвы.

Объект Т3. Обследованный объект представлял собой засыпанную траншею искусственного происхождения, которая находится в центре эпицентральной зоны групповых поверхностных экспериментов и окружена другими траншеями с отсыпкой (Рисунок 2.62).

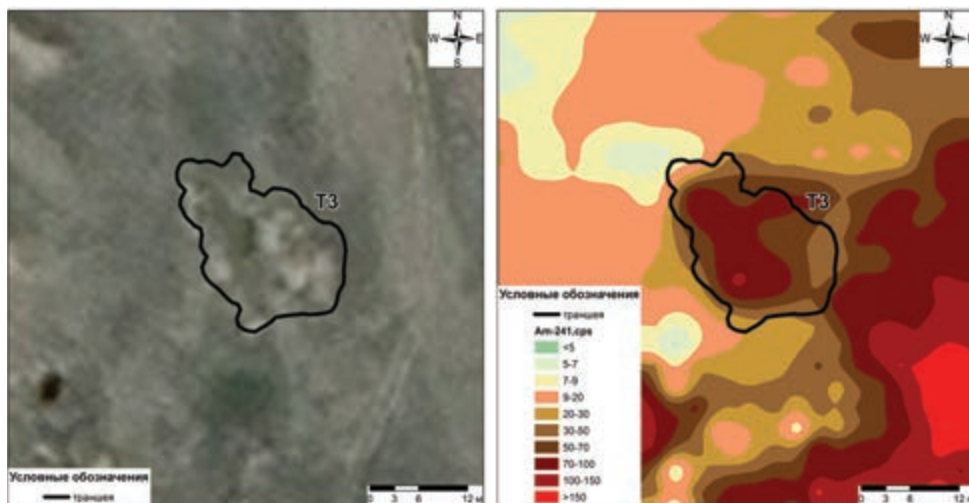


Рисунок 2.62. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте Т3

При обследовании было пробурено 9 основных скважин, и после проведения гамма-каротажа в основных скважинах, было пробурено еще 18 дополнительных скважин (Рисунок 2.63).

На основании проведенного гамма-каротажа, было установлено, что глубинное загрязнение в «головной» части траншеи Т3 сосредоточено на уровне около 3 м относительно земляной отсыпки (буровой площадки) и постепенно уменьшается, и поднимается выше, по мере движения к «хвостовой» части, что может свидетельствовать о том, что данный объект до испытаний мог иметь аналогичную каплевидную форму, что и объекты, не имеющие загрязнения и следов отсыпки.

Стоит отметить, что в некоторых скважинах с ростом концентрации ^{241}Am наблюдается незначительный рост ^{235}U . Это может свидетельствовать о наличии уранового загрязнения объекта.

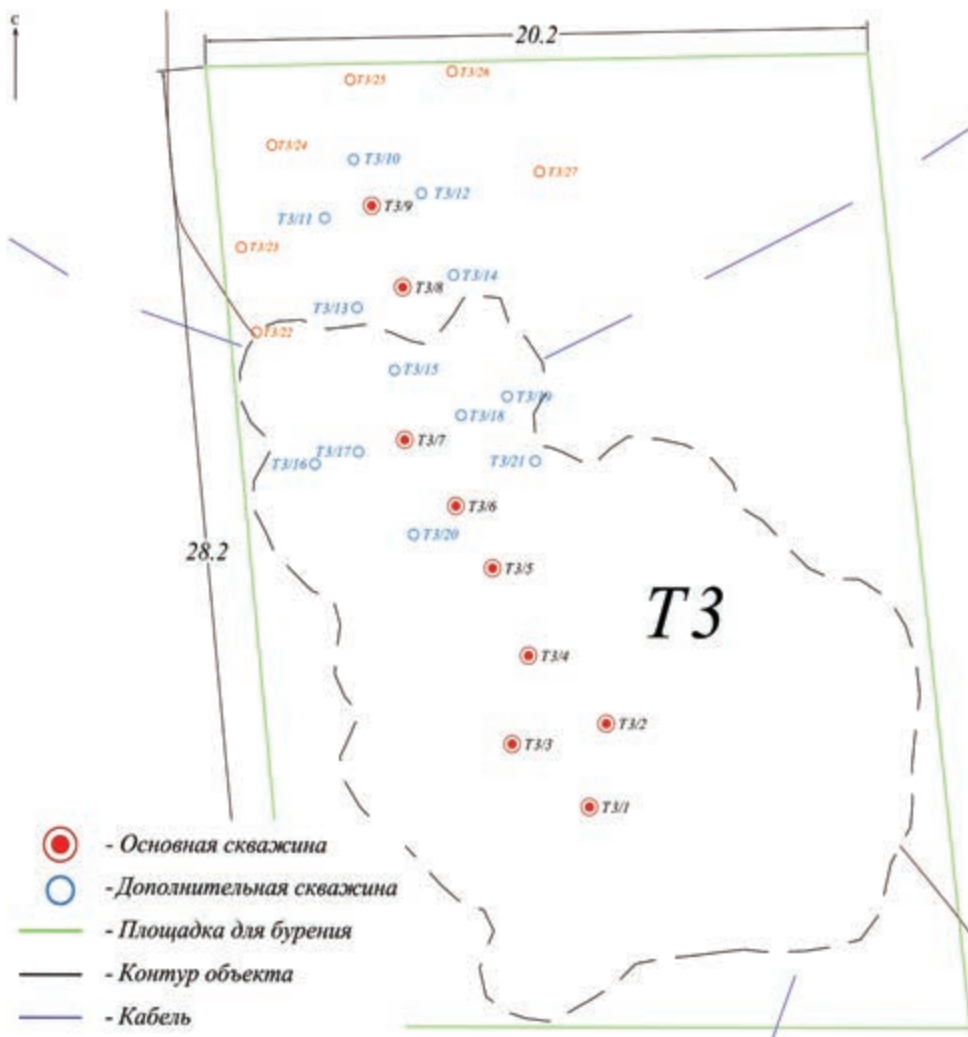


Рисунок 2.63. Схема бурения скважин на объекте ТЗ

По результатам лабораторных анализов было выявлено, что концентрация ^{241}Am (на глубине 320 см) достигает $n \times 10^5$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^6$ Бк/кг, ^{235}U – 350 Бк/кг. На основании полученных данных расчетное значение изотопного соотношения $^{239}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ на данном объекте составило $9,8 \pm 1,7$. Содержание суммы изотопов урана в почвенном слое варьирует в широком диапазоне и достигает десятков ppm. Превышение кларкового содержания происходит за счет высокого содержания ^{238}U . Среднее содержание ^{235}U в почве данной траншеи соответствует 0,59%, что меньше значения природного соотноше-

ния (0,70%). На основании данных исследований был сделан вывод, что загрязнение объекта Т3 обусловлено повышенным содержанием обедненного урана.

Объект Т4. Объект относится к северной группе траншей, имеет сложный рельеф ввиду наличия четко прослеживаемой отсыпки на дневной поверхности и глубокого провала в «головной» части (Рисунок 2.64). Анализ данных, полученных в результате проведения ДГСС, показал, что на территории объекта отмечено неравномерное площадное распределение ^{241}Am (Рисунок 2.64). Так, скорость счета повышалась при измерении в месте возникновения глубокого провала на поверхности земляной отсыпки.

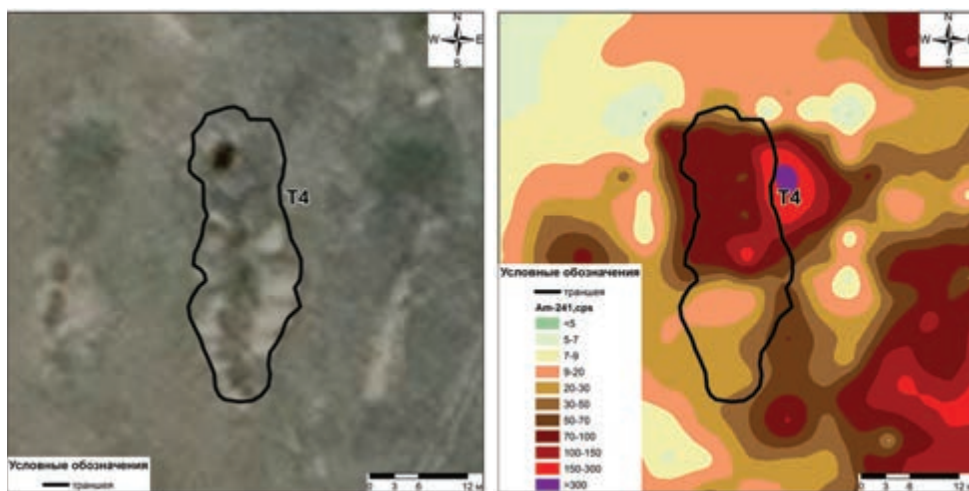


Рисунок 2.64. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте Т4

При обследовании было пробурено 16 скважин (9 основных и 7 дополнительных) (Рисунок 2.65).

Исходя из данных вертикального гамма-каротажа, можно отметить наличие слоя загрязнения в верхней части объекта, наличие которого обусловлено поверхностным загрязнением.

Так же, в одной из скважин, в донном слое было зафиксировано несколько всплесков концентраций, количественно сопоставимых с максимумами по всему объекту Т4. Судя по всему, регистрация экстремальных значений ^{241}Am на глубине от 220 до 325 см связана с разлётом массивных загрязнённых конструктивных элементов неядерно-взрывного устройства в грунте.

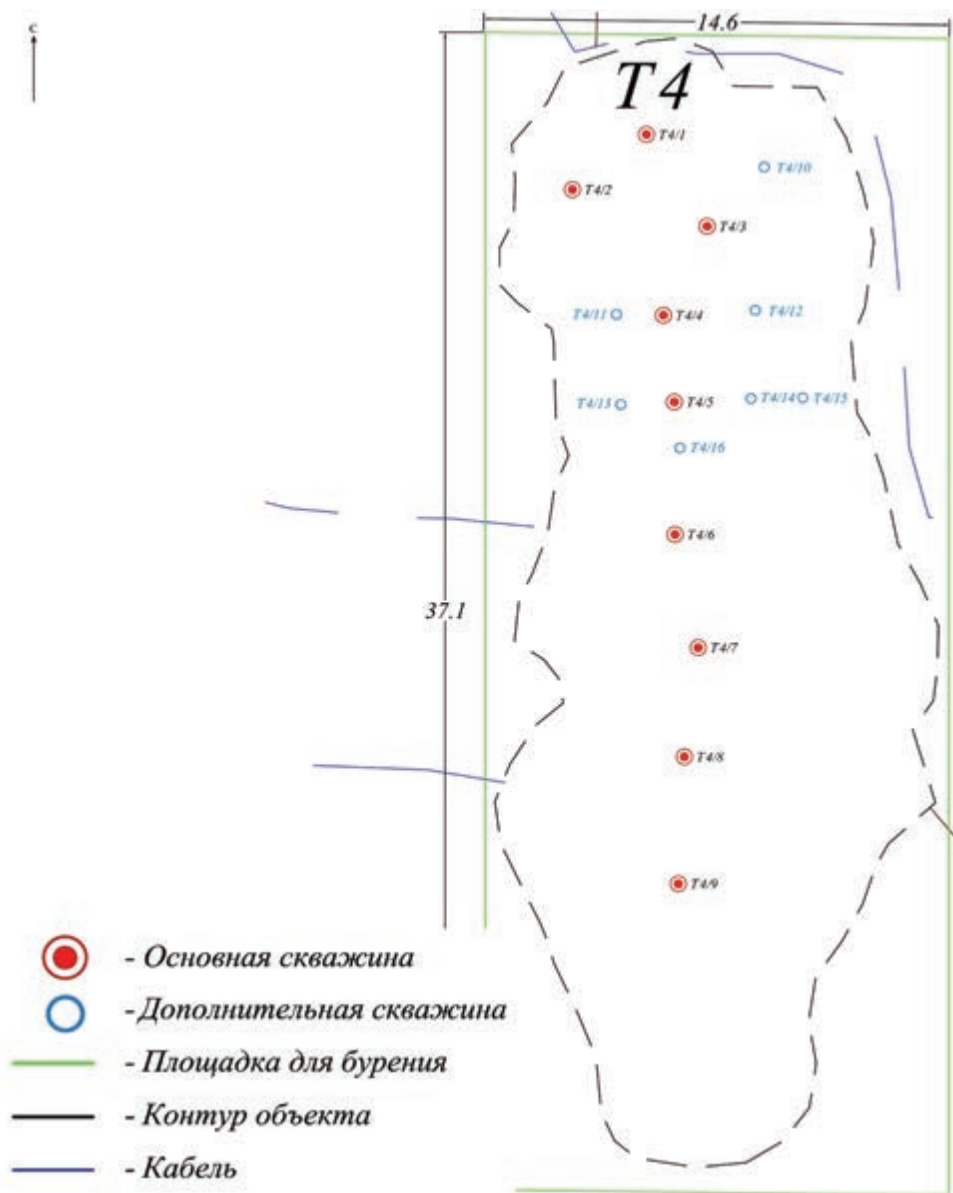


Рисунок 2.65. Схема бурения скважин на объекте T4

Анализ результатов спектрометрических измерений показал, что концентрация ^{241}Am в поверхностном и глубинном слоях достигают $n \times 10^5$ Бк/кг, ^{239}Pu - $n \times 10^6$ Бк/кг. В местах всплесков концентрации ^{241}Am наблюдаются признаки незначительного повышения скорости счета гамма-импульсов в области ^{235}U . Коэффициент отношения $^{239}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$

на исследуемом объекте равен $10 \pm 0,6$. Содержание суммы изотопов урана в анализируемых образцах достигает десятков ppm, что говорит о превышении среднего кларкового содержания изотопов урана в почве и, следовательно, о признаках наличия привнесенного урана на исследуемом объекте. Стоит отметить, что превышение кларкового содержания происходит за счет высокого содержания ^{238}U , а среднее содержание ^{235}U соответствует 0,51%, что меньше значения природного соотношения (0,70%). Данный факт означает, что уран на объекте T4 является обедненным.

Объект T5. Объект расположен в северной части площадки П-2М, в зоне скопления множества других траншей (Рисунок 2.66). Анализ результатов ДГСС показал, что площадное распределение ^{241}Am достаточно неоднородно. Так, резкие повышения концентрации ^{241}Am были отмечены в зонах глубоких провалов на поверхности земляной отсыпки, где скорость счета гамма-импульсов существенно повышалась.

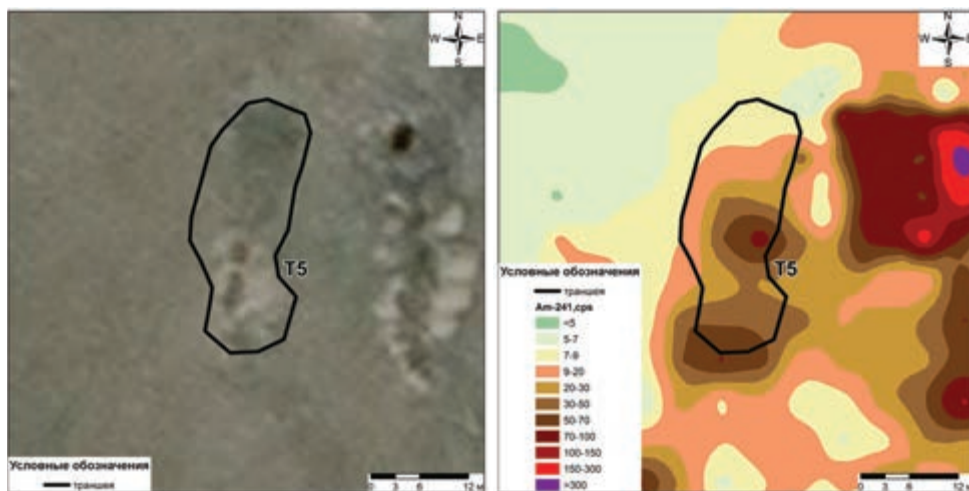


Рисунок 2.66. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте T5

При обследовании объекта было пробурено 30 скважин (12 основных и 18 дополнительных) (Рисунок 2.67).

Исходя из данных вертикального гамма-каротажа, можно отметить наличие слоя загрязнения в верхней части объекта, наличие которого обусловлено поверхностным загрязнением. Поверхностное загрязнение связано с проведением неядерно-взрывных экспериментов в непосредственной близости от обследуемой траншеи.

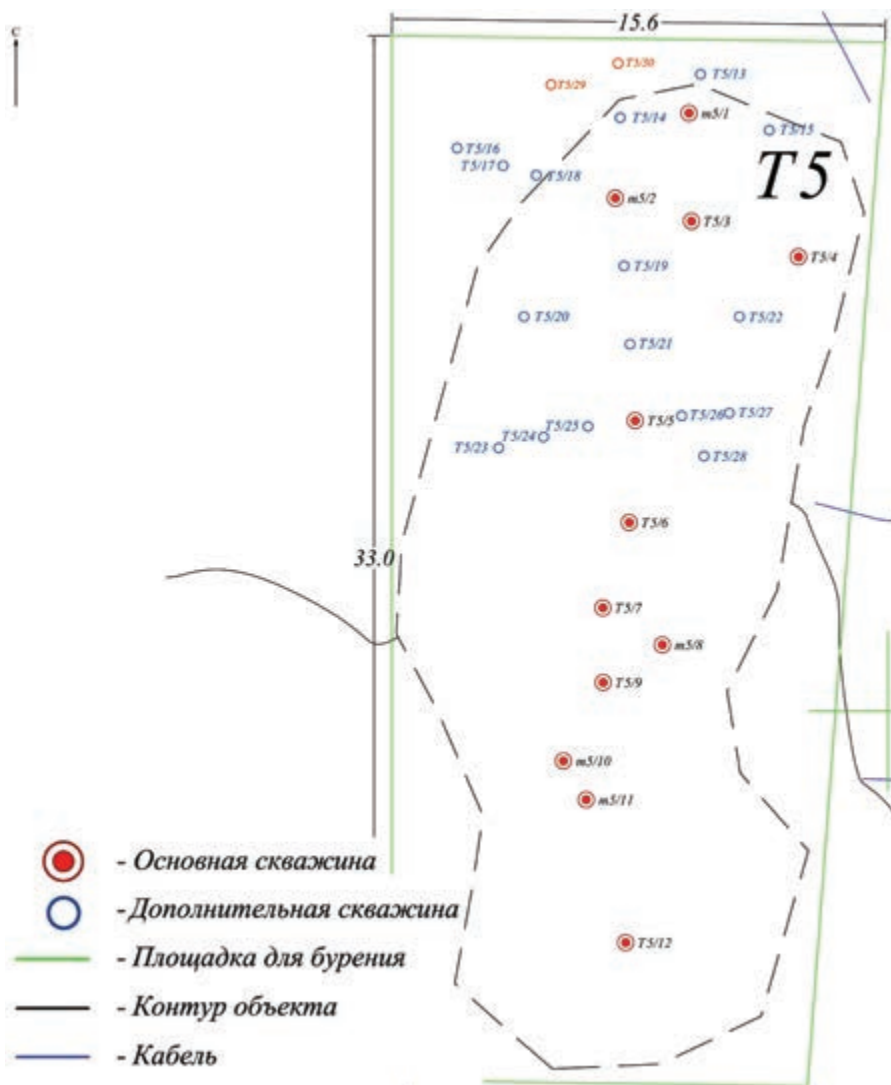


Рисунок 2.67. Схема бурения скважин на объекте T5

Изучение результатов лабораторных анализов показало, что значения концентраций ^{241}Am в поверхностном и глубинном слоях достигали значений $n \times 10^5$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^6$ Бк/кг. Также, на основании результатов измерений были рассчитаны изотопные соотношения $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$. Среднее значение данного соотношения на обследуемом объекте равно $10,3 \pm 2,6$. Масс-спектрометрические исследования выявили, что содержание суммы изотопов урана достигает десятков ppm, что превышает среднее кларковое содержание и явно указывает

на наличие привнесенного урана на исследуемом объекте. Стоит отметить, что превышение кларкового содержания происходит за счет высокого содержания ^{238}U , а среднее содержание ^{235}U соответствует 0,54%, что существенно меньше природного соотношения (0,70%). Данный факт свидетельствует о том, что уран на объекте Т5 является обедненным. Признаков наличия обогащенного урана зарегистрировано не было.

Объект Т6. Объект обследования расположен в центральной части площадки П-2М. Траншея Т6 стала первым обнаруженным объектом такого типа и стала стартовой площадкой для предположения о наличии ОЯД на глубине на основании наличия пучка коаксиальных кабелей, уходящих вглубь траншеи (их местоположение обозначено белой стрелкой (Рисунок 2.68)). Обследование траншеи Т6 проводилось в два этапа.

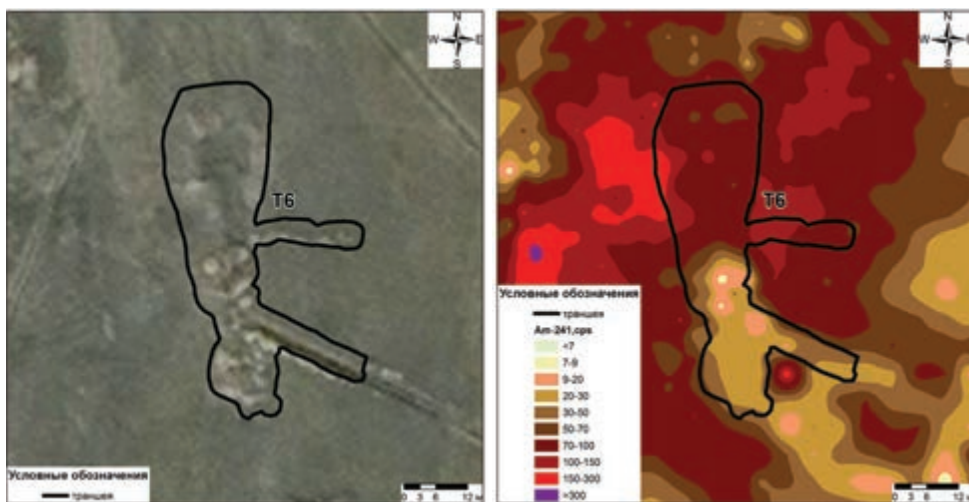


Рисунок 2.68. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте Т6

На первом этапе были пробурены 16 скважин на глубину до 3,5 м по схеме, представленной на рисунке (Рисунок 2.69).

Анализ результатов спектрометрических измерений показал, что максимальные уровни удельной активности ^{241}Am зафиксированы в «головной» части обследуемой траншеи и достигают значений $n \times 10^5$ Бк/кг. Радиоактивное загрязнение в других скважинах обусловлено поверхностным загрязнением и признаками вертикальной миграции радионуклидов в рыхлом грунте поверхностной отсыпки.

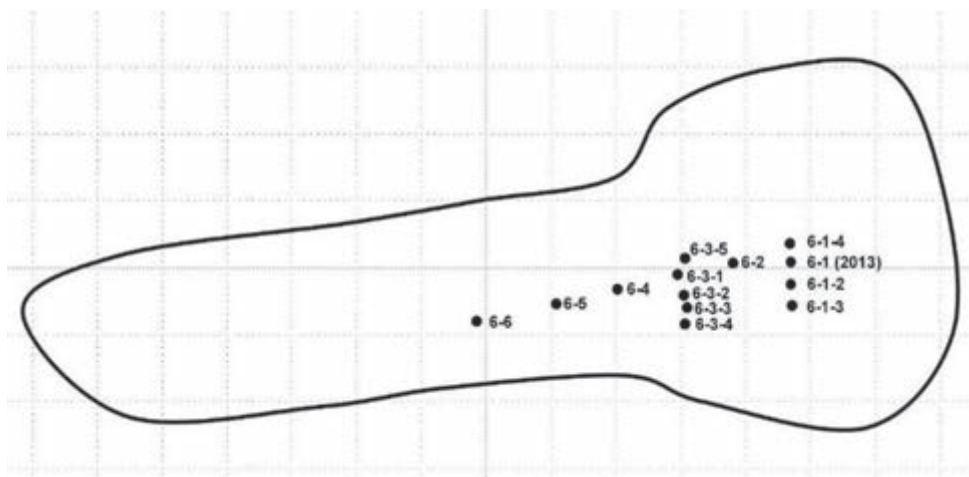


Рисунок 2.69. Схема расположения скважин на объекте Т6 на первом этапе обследования

На втором этапе обследования с помощью гамма-каротажа было пробурено 10 скважин (3 основных и 7 дополнительных) (Рисунок 2.70).

В результате проведенных исследований было установлено, что поверхностное загрязнение сформировано, предположительно, от ближайших неядерно-взрывных экспериментов поверхностного типа.

Анализ данных, полученный в результате проведения гамма-каротажа, выявил, что максимальные уровни загрязнения обнаружены на глубине 320-370 см. Учитывая данные предыдущих обследований, стоит отметить, что загрязнение имеет максимальную глубину залегания в «головной» части траншеи и минимальную глубину залегания – в «хвостовой». Концентрация ^{241}Am в поверхностном и глубинном слоях достигают значений $n \times 10^6$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^7$ Бк/кг. Помимо трансурановых элементов были выявлены значимые концентрации ^{235}U с величиной удельной активности, превышающей 200 Бк/кг. На основании результатов измерений был рассчитан коэффициент отношения $^{239}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$, который равен $15 \pm 0,9$. Содержание суммы изотопов урана в анализируемых образцах варьирует в широком диапазоне и достигает десятков ppm и превышает среднее кларковое содержание, что свидетельствует о признаках наличия привнесенного урана на Т6. Исследование показало, что превышение кларкового содержания происходит за счет высокого содержания ^{238}U (десятки ppm), а среднее содержание ^{235}U соответствует 0,7%, что свидетельствует о наличии привнесенного урана с соотношением изотопов, близким к природному.

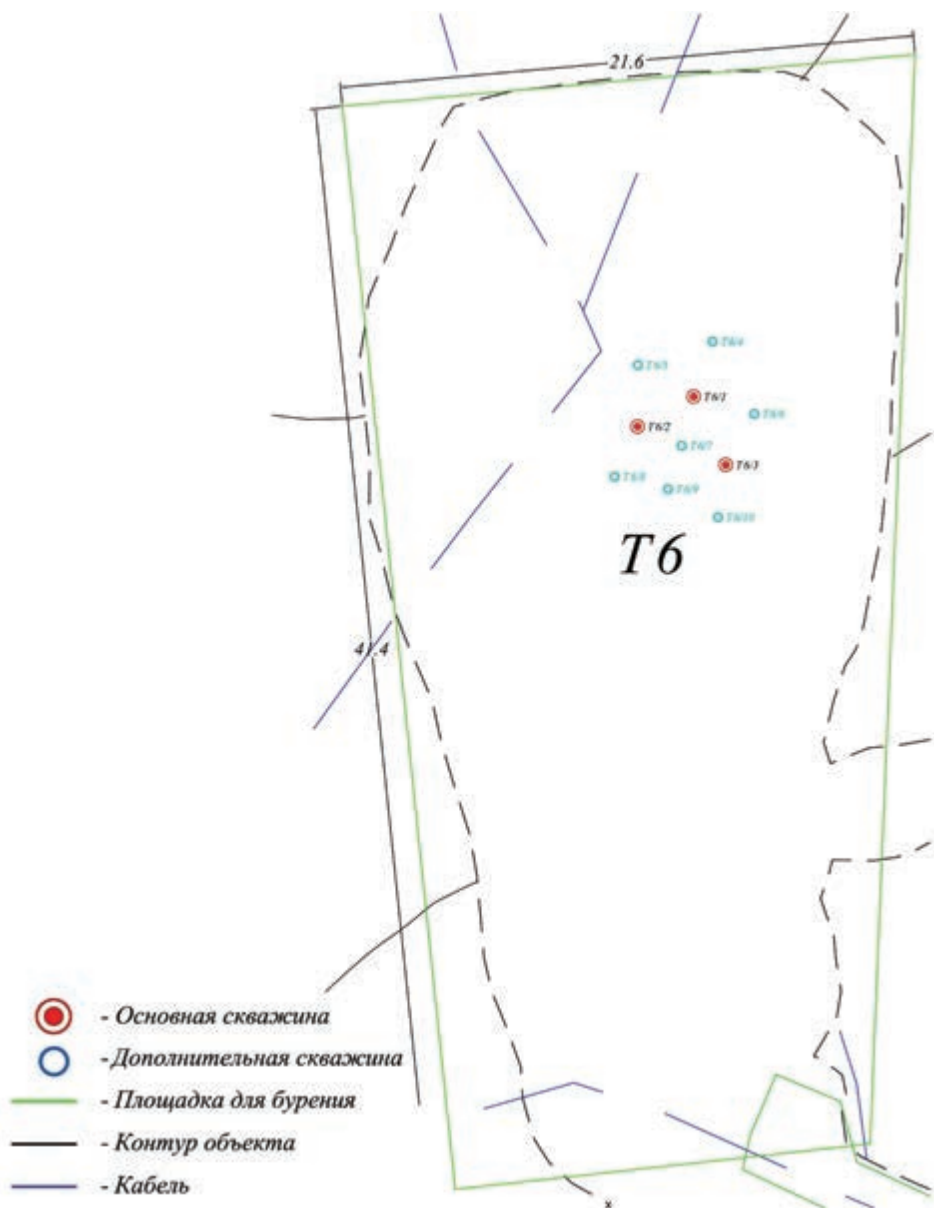


Рисунок 2.70. Схема бурения скважин на объекте T6

Объект T7. Обследуемая траншея расположена в центральной зоне испытательной площадки П-2М, в непосредственной близости других подобных объектов (Рисунок 2.71). При обследовании было определено, что T7 имеет сложный рельеф, контур траншеи определить достаточно сложно.

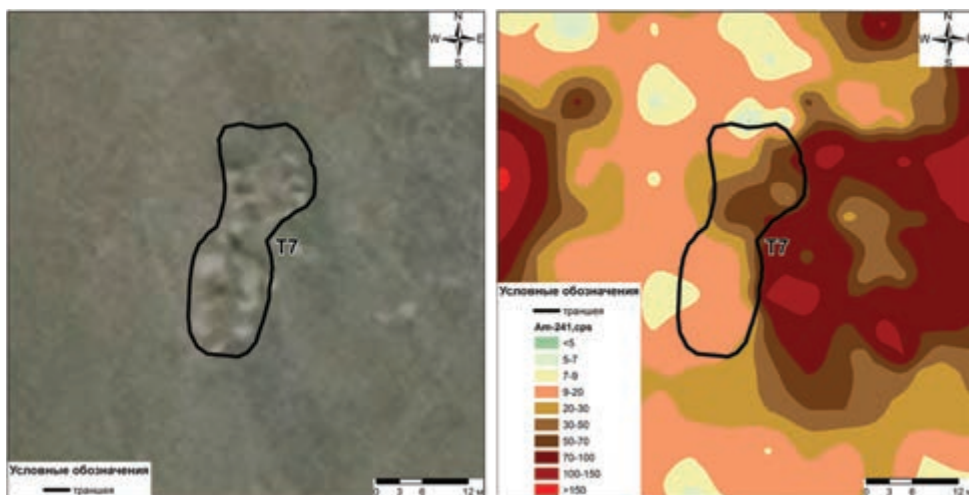


Рисунок 2.71. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте Т7

Для обследования были пробурены 13 основных скважин, и после проведения гамма-каротажа в основных скважинах, еще было пробурено 10 дополнительных скважин (Рисунок 2.72).

В результате проведенных исследований было определено, что загрязнение объекта Т7 сконцентрировано, в основном, в «головной» части траншеи. Наиболее загрязнена область, представляющая собой овал. Глубина залегания максимумов в вышеописанной области составляет около 255-355 см. Глубина залегания максимумов постепенно уменьшается, и располагается выше, по мере движения к «хвостовой» части.

Верхний слой загрязнения обусловлен, по всей видимости, выпадением диспергированных ядерных материалов от поверхностных неядерно-взрывных испытаний.

Значения концентрации ^{241}Am в глубинном слое достигают $n \times 10^5$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^6$ Бк/кг. В местах максимумов трансурановых элементов наблюдается наличие уранового загрязнения с концентрациями, достигающими 320 Бк/кг. Среднее значение соотношения $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ на обследуемом объекте равно $10,0 \pm 1,5$. Содержание суммы изотопов урана достигло десятков ppm. Поскольку среднее кларковое содержание составляет 2,7 ppm, то превышение данного порога говорит о наличии привнесенного урана на исследуемом объекте. Стоит отметить, что превышение кларкового содержания происходит за счет высокого содержания ^{238}U , а среднее содержание ^{235}U соответствует 0,55%. Это значение меньше природного соотношения (0,70%). Данный факт свидетельствует о наличии обедненного урана на объекте Т7.

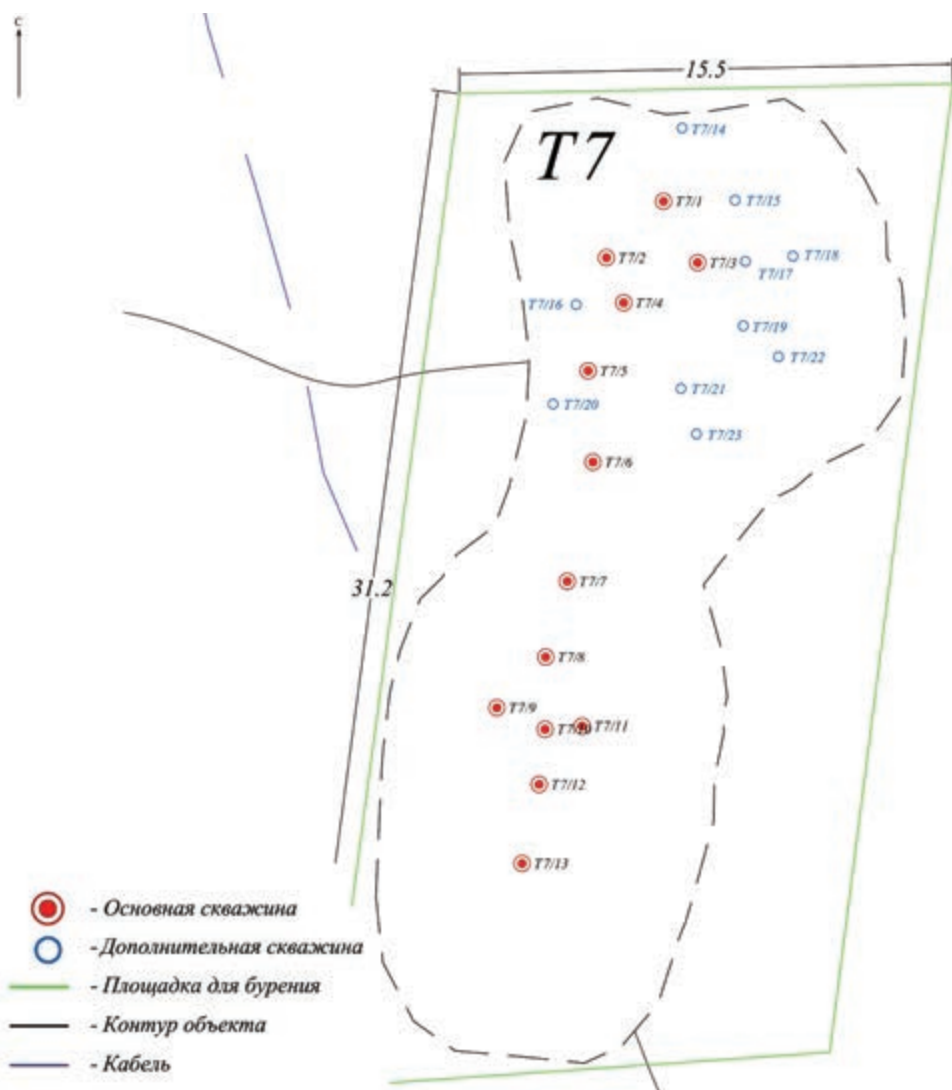


Рисунок 2.72. Схема бурения скважин на объекте T7

Объект T8. Объект расположен в юго-западной части площадки П-2М, в районе скопления множества других траншей (Рисунок 2.73). Анализ данных, полученных с помощью ДГСС показал, что на территории объекта отмечено неравномерное площадное распределение ^{241}Am (Рисунок 2.73). Наиболее ярко выражены перепады концентраций ^{241}Am в местах возникновения глубоких провалов на поверхности земляной отсыпки, где скорость счета гамма-импульсов существенно повышается с увеличением глубины.

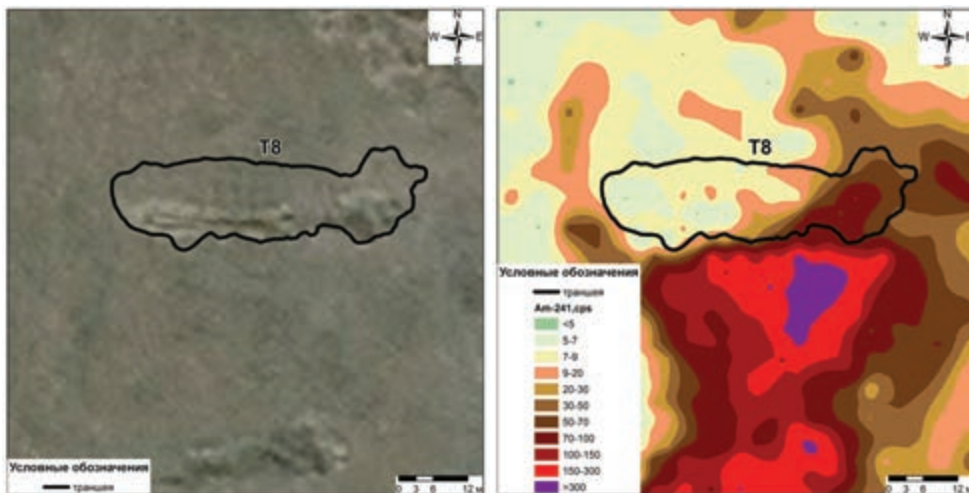


Рисунок 2.73. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте Т8

При обследовании объекта Т8 было пробурено 9 основных и 9 дополнительных скважин (Рисунок 2.74).

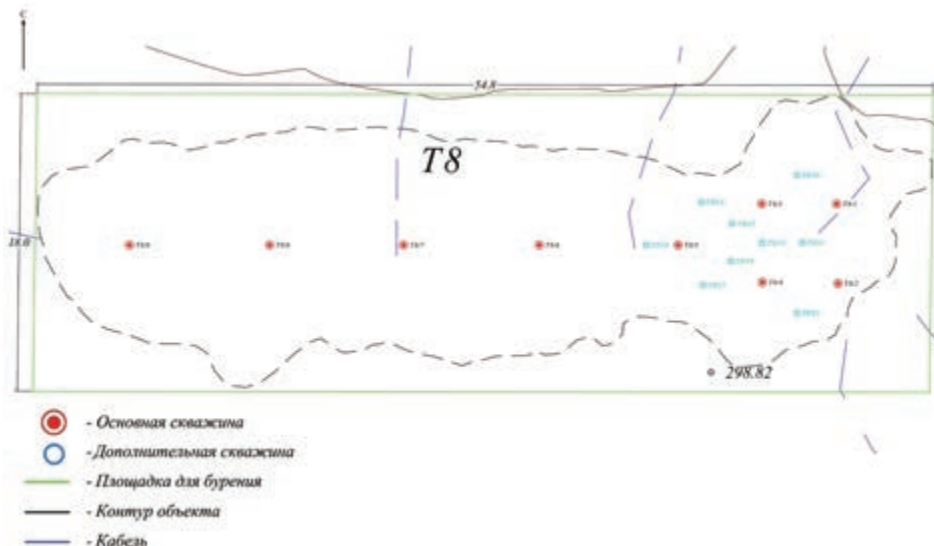


Рисунок 2.74. Схема бурения скважин на объекте Т8

В результате проведенных исследований установлено, что загрязнение объекта Т8, обусловлено, вероятно, несколькими процессами, поскольку были выявлены признаки как поверхностного, глубинного, так и равномерного загрязнения по всей глубине скважины. Появление

ние поверхностного загрязнения связано с проведением наземных ядерно-взрывных экспериментов на поверхности земли (не в траншеях). Глубинное загрязнение в «головной» части траншеи Т8 сосредоточено на уровне 200-300 см относительно земляной отсыпки (буровой площадки).

Анализ лабораторных данных показал, что концентрации ^{241}Am в поверхностном и глубинном слоях достигают значений $n \times 10^5$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^6$ Бк/кг. Среднее значение соотношения $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ на обследуемом объекте равно $15,0 \pm 1,0$. Концентрация суммы изотопов урана в анализируемых образцах варьирует и достигает десятков ррт. Превышение среднего кларкового содержания свидетельствует о явных признаках наличия привнесенного урана на исследуемой траншее. Стоит отметить, что массовая доля ^{235}U варьирует от 0,52% до 1,1%, что говорит о присутствии на территории обследуемого объекта нескольких видов урана: обедненного урана, урана с природным соотношением и урана с незначительной степенью обогащения.

Объект Т10. Объект обследования относится к центральной группе траншей, расположенных на технической площадке П-2М, имеет сложный рельеф вследствие наличия признаков земляной отсыпки на поверхности и глубокого провала в «головной» части, где зафиксированы максимальные радиационные параметры (Рисунок 2.75). Анализ результатов, полученных с помощью ДГСС, показал, что поверхностное загрязнение ^{241}Am является крайне неравномерным.

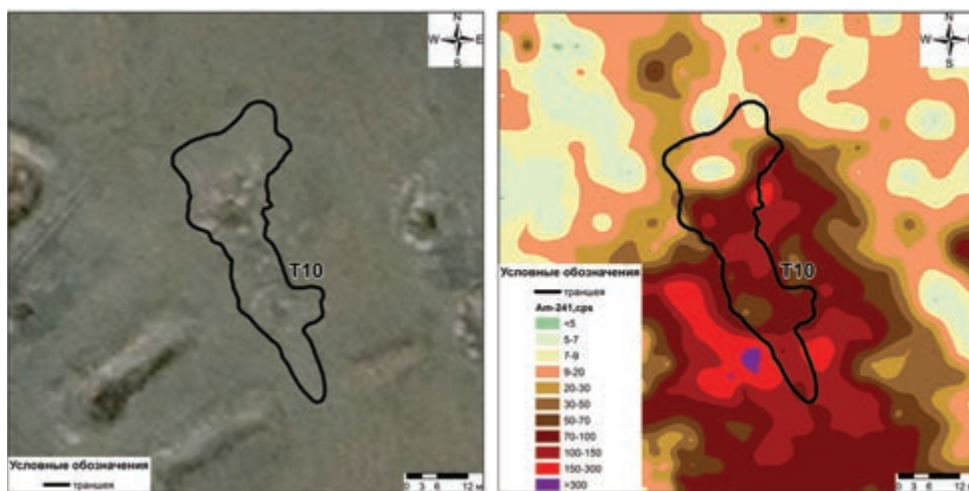


Рисунок 2.75. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте Т10

При проведении обследования было пробурено 17 скважин, 7 основных и 10 дополнительных (Рисунок 2.76).

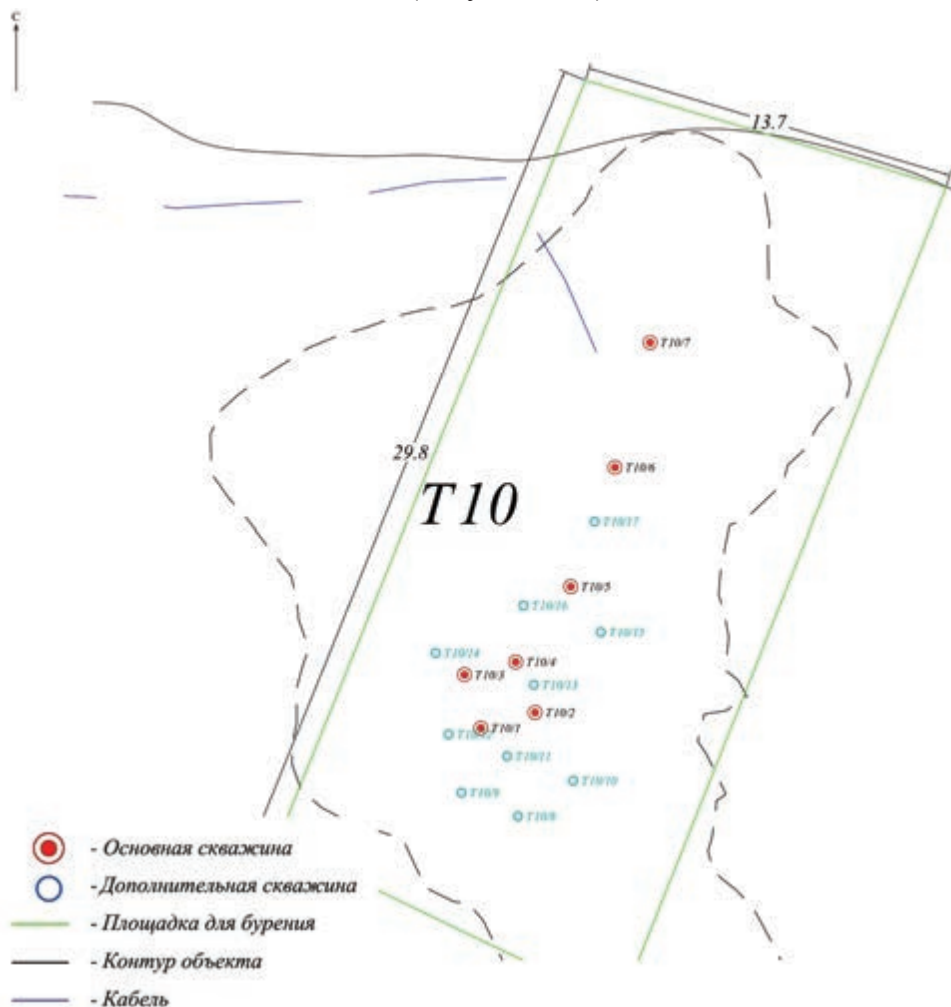


Рисунок 2.76. Схема бурения скважин на объекте Т10

В результате комплекса проведенных работ на данном объекте, было выявлено, что характер его загрязнения образован, по всей видимости, различными процессами. На основании проведенного гамма-каротажа в дополнительных скважинах, можно отметить признаки как поверхностного, так и глубинного загрязнения по всей глубине скважины. Появление поверхностного загрязнения может быть связано с проведением серии наземных гидроядерных испытаний на поверхности земли (не в траншеях).

На основании проведенных спектрометрических измерений было установлено, что концентрация ^{241}Am достигает значений $n \times 10^6$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^7$ Бк/кг. Помимо трансурановых элементов были выявлены значимые концентрации ^{235}U с величиной удельной активности, достигающей значения 380 Бк/кг. Расчетное значение изотопного соотношения $^{239}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ на объекте Т3 составило $11,5 \pm 0,9$.

Содержание суммы изотопов урана в анализируемых образцах изменяется в широком диапазоне и достигает десятков ppm, что превышает среднее кларковое содержание и говорит о существовании привнесенного урана на исследуемом объекте. При этом, ближе к поверхности уран имеет незначительную степень обогащения, а на глубине свыше 3 м содержание ^{235}U составляет около 0,5%. Это означает, что уран на данной глубине является обедненным. Различная массовая доля ^{235}U на разных глубинах свидетельствует о разных источниках его происхождения.

Объект Т11. Объект расположен в центральной части площадки П-2М. (Рисунок 2.77). На территории объекта наблюдаются неровности рельефа и глубокий провал, предположительно, являющийся зоной предполагаемого подрыва заряда.

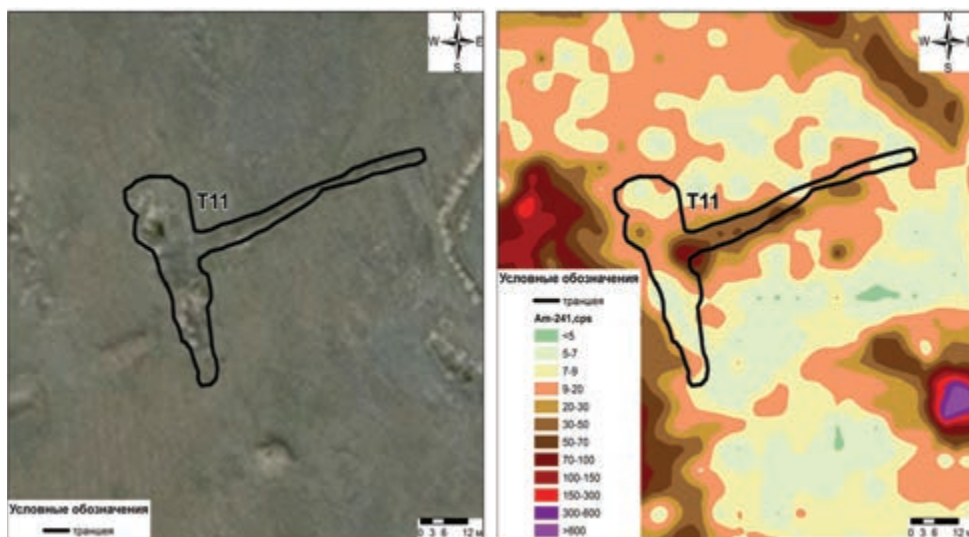


Рисунок 2.77. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте Т11

Для обследования было пробурено 11 скважин (7 основных и 4 дополнительных) (Рисунок 2.78).

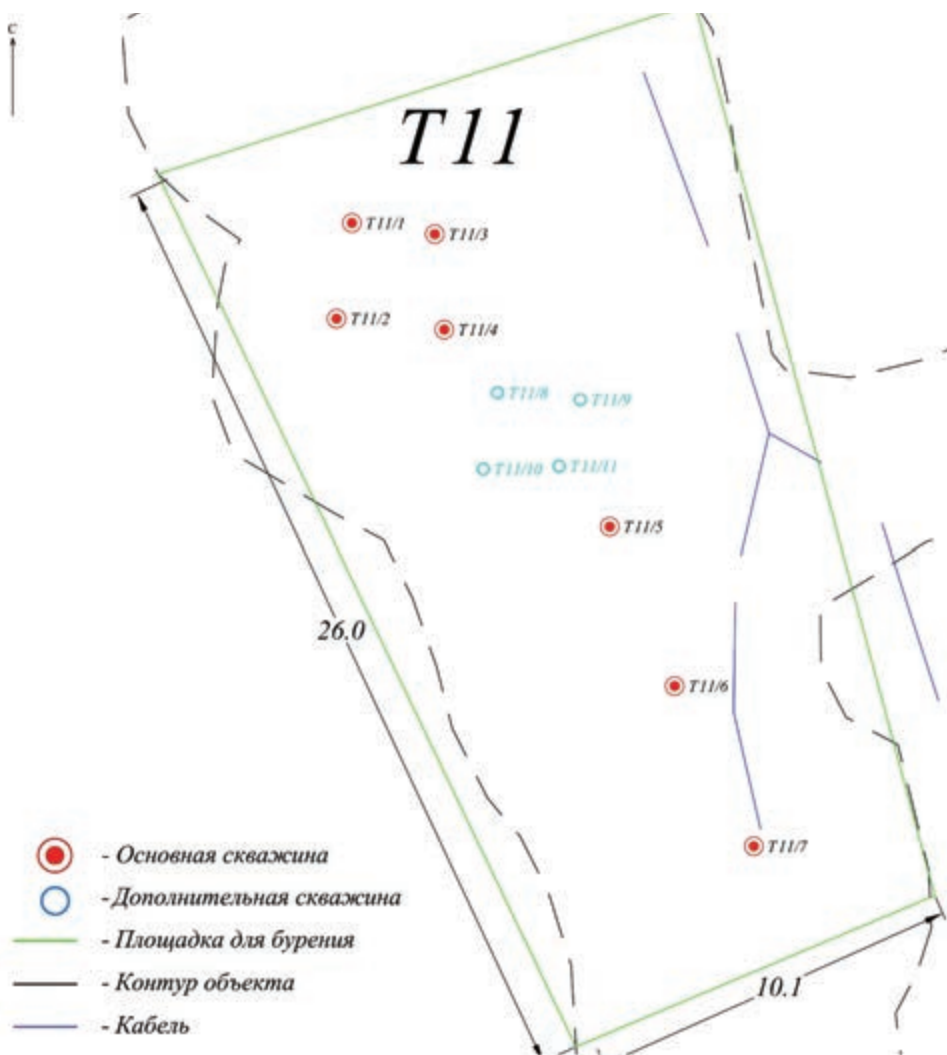


Рисунок 2.78. Схема бурения скважин на объекте Т11

Исходя из данных радионуклидного анализа и результатов гамма-каротажа, можно сделать вывод, что основным загрязнителем объекта Т11 является ^{241}Am и, соответственно, изотопы Pu.

Анализ данных спектрометрических измерений показал, что значения концентраций ^{241}Am достигают значений $n \times 10^5$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^6$ Бк/кг. Среднее значение $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ соотношения на обследуемом объекте равно $14,5 \pm 3,0$.

Содержание суммы изотопов урана в анализируемых образцах достигает нескольких единиц ppm. Полученные значения превышают

среднее кларковое содержание изотопов урана в почве, равное 2,7 ppm, что явно свидетельствует о том, что помимо трансурановых элементов, объект Т11 содержит уран с изотопным соотношением близким к природному.

Объект Т12. Траншея расположена в центральной части площадки П-2М, вблизи нее проходит вскрытый кабельный канал – один из признаков проведения траншейного неядерно-взрывного эксперимента (Рисунок 2.79). В отличие от других каплевидных траншей, форма выемки данного объекта имеет одинаковую ширину вдоль своей оси походит на траншею с поверхностной земляной отсыпкой. Исследование результатов, полученных в ходе проведения ДГСС, показало, что поверхностное распределение ^{241}Am неоднородно (Рисунок 2.79).

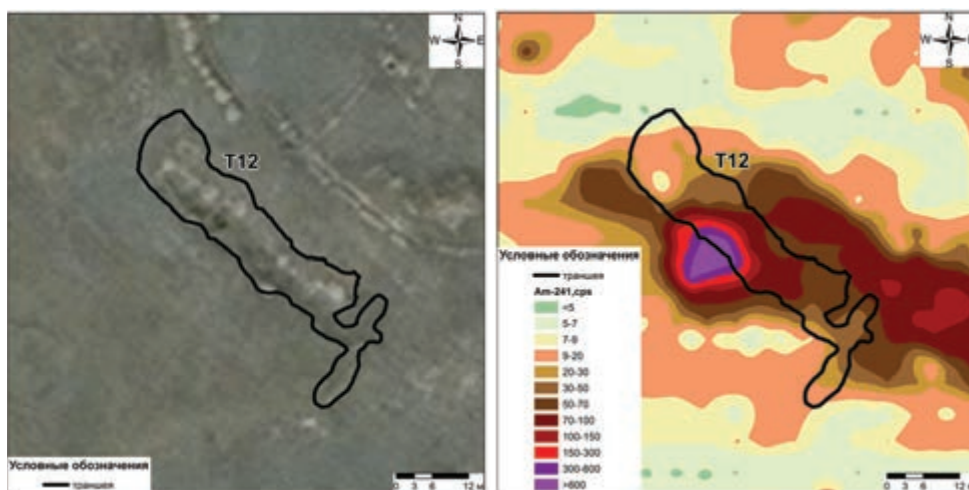


Рисунок 2.79. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте Т12

Для проведения обследования объекта Т12 проводился гамма-картаж в 27 скважинах (16 основных и 11 дополнительных) (Рисунок 2.80).

По результатам проведенных исследований было установлено, что основная часть ОЯД сформирована в геометрическом центре траншеи – в месте подведения кабельных коммуникаций. Глубина залегания максимального загрязнения варьирует от 200 до 250 см. Местами наблюдается наличие поверхностного загрязнения, которое сформировано, предположительно, от выпадения диспергированных ядерных материалов от ближних поверхностных неядерно-взрывных испытаний.

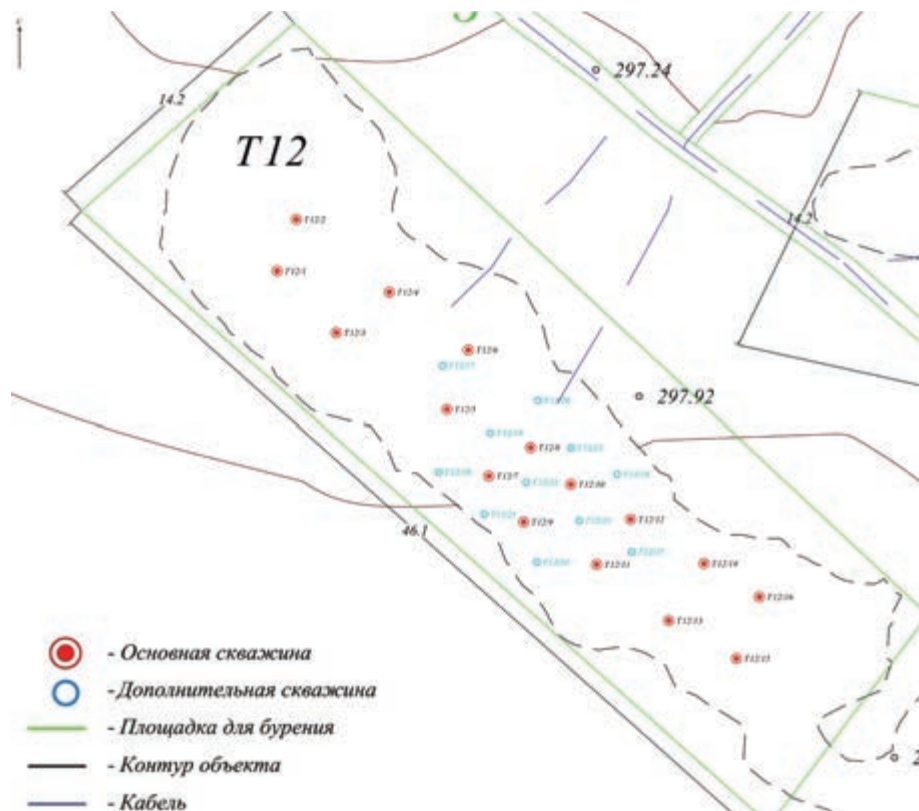


Рисунок 2.80. Схема бурения скважин на объекте Т12

В результате проведения лабораторных измерений концентрация ^{241}Am в поверхностном и глубинном слоях достигает значений $n \times 10^5$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^6$ Бк/кг. Расчётный коэффициент отношения $^{239}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ на объекте Т12 равен $10,2 \pm 1,2$.

Помимо трансурановых радионуклидов на объекте Т12 выявлено загрязнение ураном с соотношением изотопов, близким к природному. Содержание суммы изотопов урана в анализируемых образцах варьирует и достигает десятков ppm, при среднем кларковом содержании 2,7 ppm. По всей видимости, данный материал использовался в конструкции или делящейся части неядерно-взрывного устройства.

Объект Т13. Траншея Т13 относится к юго-западной группе скопления однотипных объектов, расположенных на технической площадке. Объект имеет узкую каплевидную форму по типу траншеи, отличается сложным рельефом вследствие признаков земляной отсыпки на поверхности и глубокого провала в «головной» части (Рисунок 2.81).

Анализируя распределение ^{241}Am , можно отметить существенное влияние земляной отсыпки на радиационную ситуацию, которое проявилось в резких изменениях скорости счета гамма-импульсов в зоне провала (Рисунок 2.81).

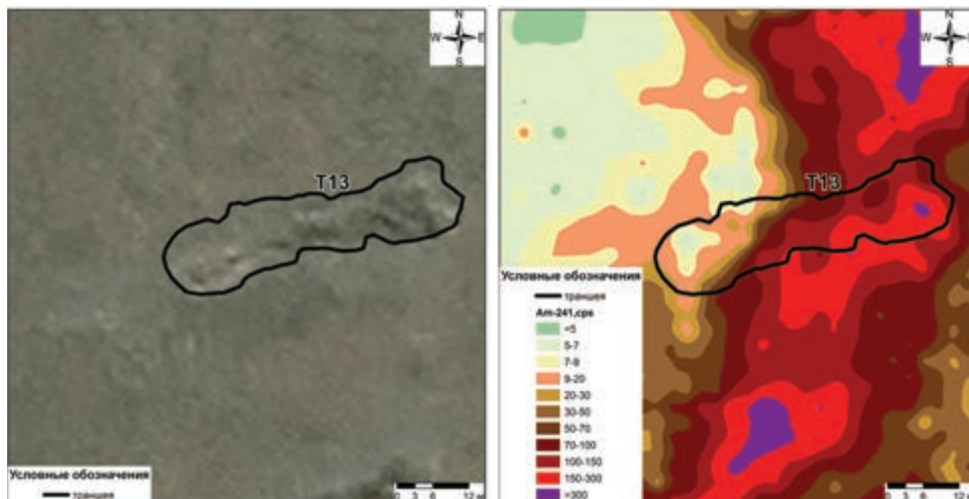


Рисунок 2.81. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте Т13

Было пробурено 27 скважин (10 основных и 17 дополнительных) (Рисунок 2.82).

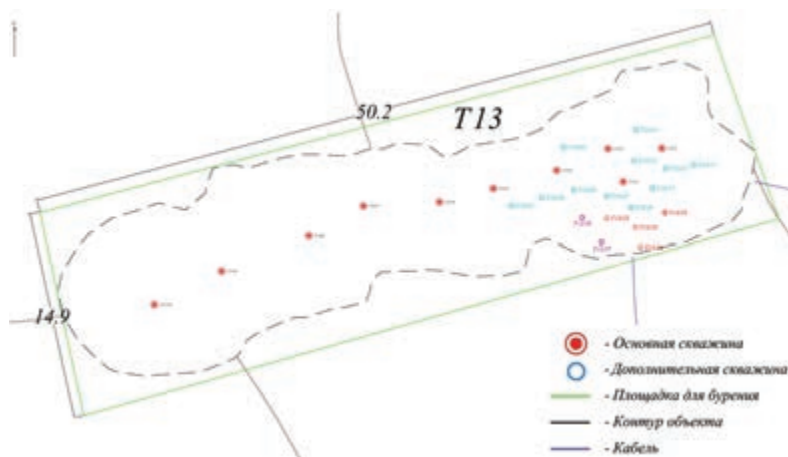


Рисунок 2.82. Схема бурения скважин на объекте Т13

В результате проведенных исследований установлено, что загрязнение объекта Т13 сконцентрировано, в основном, в «головной» части

траншеи. Наиболее загрязнена область, представляющая собой овал. Глубина залегания ОЯД в вышеописанной области достигает 370 см. Так же, объект имеет существенное поверхностное загрязнение, которое имеет большую толщину слоя.

По лабораторным данным, концентрация ^{241}Am в поверхностном и глубинном слоях достигает $n \times 10^6$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^7$ Бк/кг, а расчетный коэффициент отношения $^{239}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ на объекте составляет $9,4 \pm 1,0$. Содержание суммы изотопов урана доходит до десятков ppm при среднем кларковом содержании 2,7 ppm, что подтверждает использование изотопов урана в конструкционных материалах экспериментального заряда, испытанного на объекте Т13. Анализ данных показал, что в некоторых пробах почвы содержание ^{235}U составляет 0,5% (что свойственно для обедненного урана), в некоторых пробах массовая доля ^{235}U составляет около 0,7% (природное содержание), а в одной пробе был отмечен обогащенный уран со степенью обогащения 8,1%. Данный факт свидетельствует о наличии урана с различным массовым соотношением изотопов на объекте Т13.

Объект Т14. Объект находится в юго-западной части площадки П-2М. Первоначальное обследование показало, что траншея имеет сложный рельеф и множество провалов в земляной отсыпке (Рисунок 2.83). По результатам проведения ДГСС было определено, что на территории объекта отмечено неравномерное площадное распределение ^{241}Am (Рисунок 2.83). Присутствие перепадов концентраций ^{241}Am наблюдалось в местах возникновения провалов на поверхности земляной отсыпки, где скорость счета гамма-импульсов существенно повышалась с увеличением глубины.

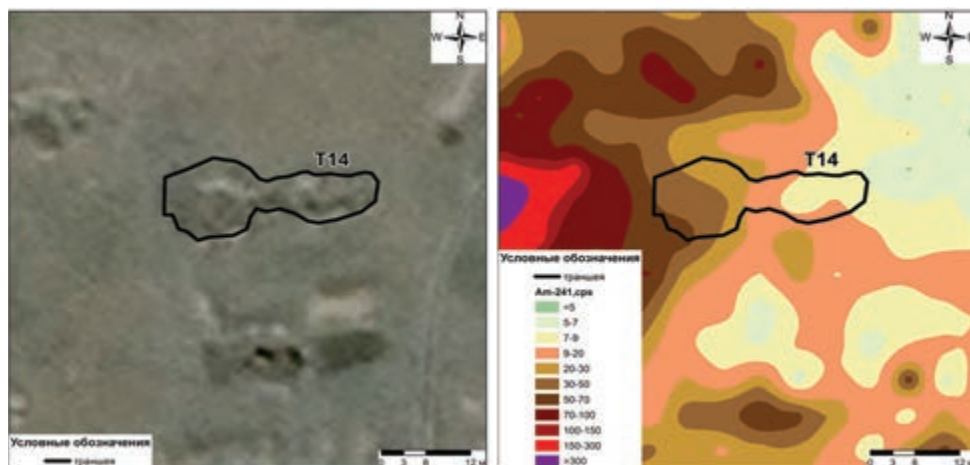


Рисунок 2.83. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте Т14

В целях установления полной картины распределения ОЯД на объекте был проведен гамма-каротаж первоначально в 8 скважинах, в дальнейшем были проведены исследования еще в 13 скважинах (Рисунок 2.84).

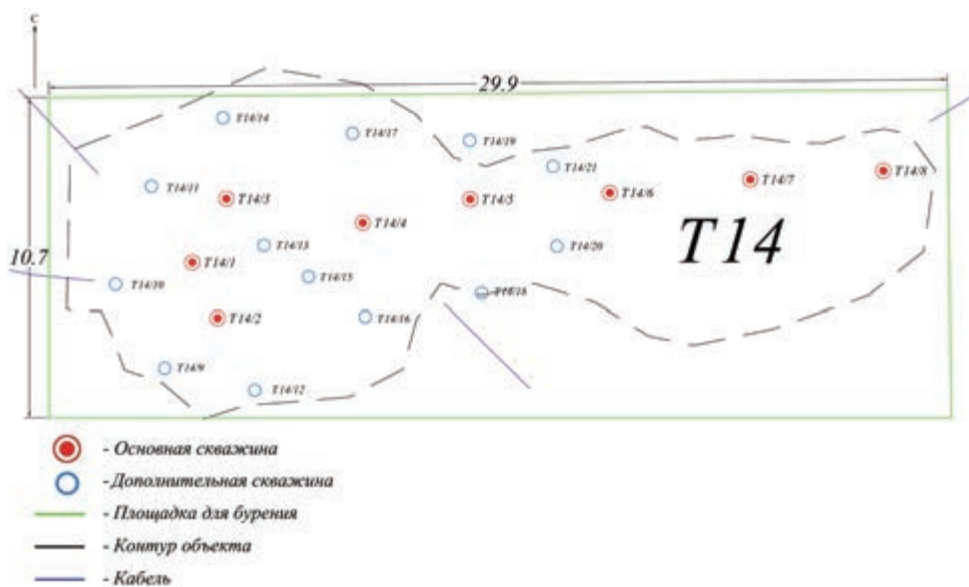


Рисунок 2.84. Схема бурения скважин на объекте Т14

В ходе проведения исследований установлено, что наибольший уровень загрязнения сконцентрирован в «головной» части траншеи, в овальной области, а «хвостовая» часть траншеи загрязнений не имеет.

Спектрометрические измерения выявили, что значения концентраций ^{241}Am достигают $n \times 10^5$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^6$ Бк/кг, а расчетное значение коэффициента отношения $^{239}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ на объекте составляет $9,6 \pm 1,4$. Масс-спектрометрический анализ показал, что концентрация суммы изотопов урана в почве до десятков единиц ppm. При этом, массовая доля ^{235}U превышает 1%, что свидетельствует об определенной степени обогащения урана, присутствующего на объекте Т14.

Объект Т15. Т15 расположен в южной части площадки П-2М. Объект обследования имеет каплевидную форму, типичную для большинства траншей на территории площадки, однако признаки земляной отсыпки отсутствовали, а радиационные параметры на дневной поверхности были относительно невысоки (Рисунок 2.85).

Невысокие значения радиационных параметров и отсутствие земляной отсыпки чистым грунтом вызвали предположения о том, что на объекте Т15 не проводились неядерно-взрывные эксперименты.

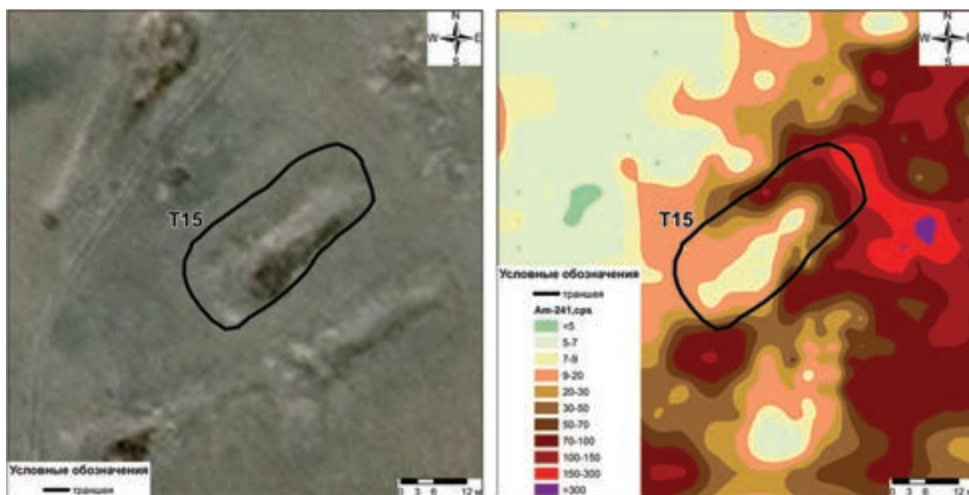


Рисунок 2.85. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте T15

По всему объекту обследования были пробурены основные и дополнительные скважины (Рисунок 2.86).



Рисунок 2.86. Схема бурения скважин на территории объекта T15

Предварительный гамма-каротаж был проведен на 8 скважинах для характеристики глубинного распределения ОЯД и выявления расположения зоны максимума (эпицентра). В результате проведения вертикального гамма-каротажа были выделены несколько скважин с максимальными концентрациями ОЯД, в которых был проведен угловой гамма-каротаж для определения направления максимумов скорости счета гамма-импульсов. По результатам углового гамма-каротажа были пробурены дополнительные 5 скважин.

Результаты измерений послышных проб почвы показали, что значения концентрации ^{241}Am в поверхностном и глубинном слоях достигают значений $n \times 10^4$ Бк/кг, $^{239}\text{Pu} - n \times 10^5$ Бк/кг. Анализ данных вертикального гамма-каротажа показал, что радиоактивное загрязнение траншеи Т15 не является характерным для площадки П-2М. Отличительные черты данного объекта – отсутствие земляной отсыпки и нетипичное увеличение концентрации ^{241}Am от «головной» части траншеи к «хвостовой». Данная особенность свидетельствует о том, что загрязнение объекта Т15, вероятно, сформировано непроведенным экспериментом на этом объекте, а привнесеном загрязнении от близлежащего испытания. Масс-спектрометрический анализ выявил диапазон концентраций суммы изотопов урана в почве, достигший нескольких единиц ppm. Стоит отметить, что среднее содержание ^{235}U , равное 0,84%, превышает природное соотношение, равное 0,70%, что свидетельствует о наличии низкообогащенного урана на объекте Т15.

Объект Т16. Траншея имеет каплевидную форму с наличием земляной отсыпки и заметными провалами грунта на поверхности. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am исследуемого объекта представлены на рисунке (Рисунок 2.87).

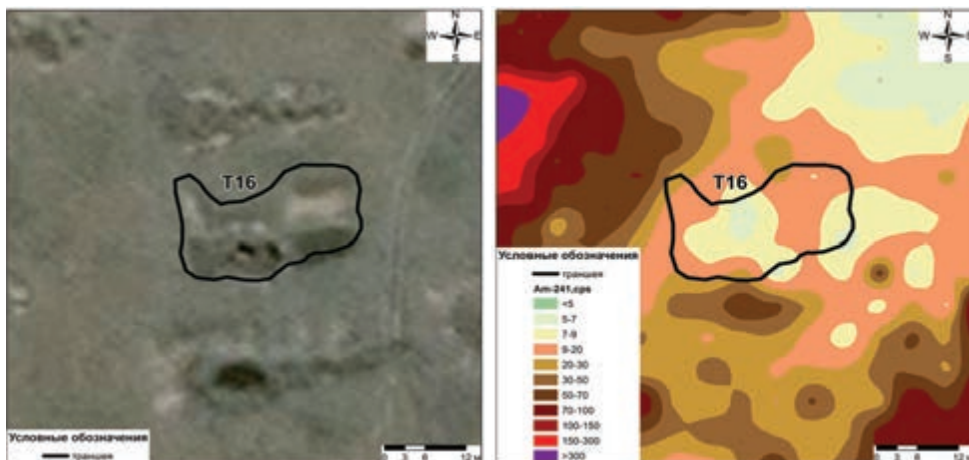


Рисунок 2.87. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте Т16

Для определения границ загрязнения ОЯД было пробурено 6 основных и 4 дополнительных скважины (Рисунок 2.88).

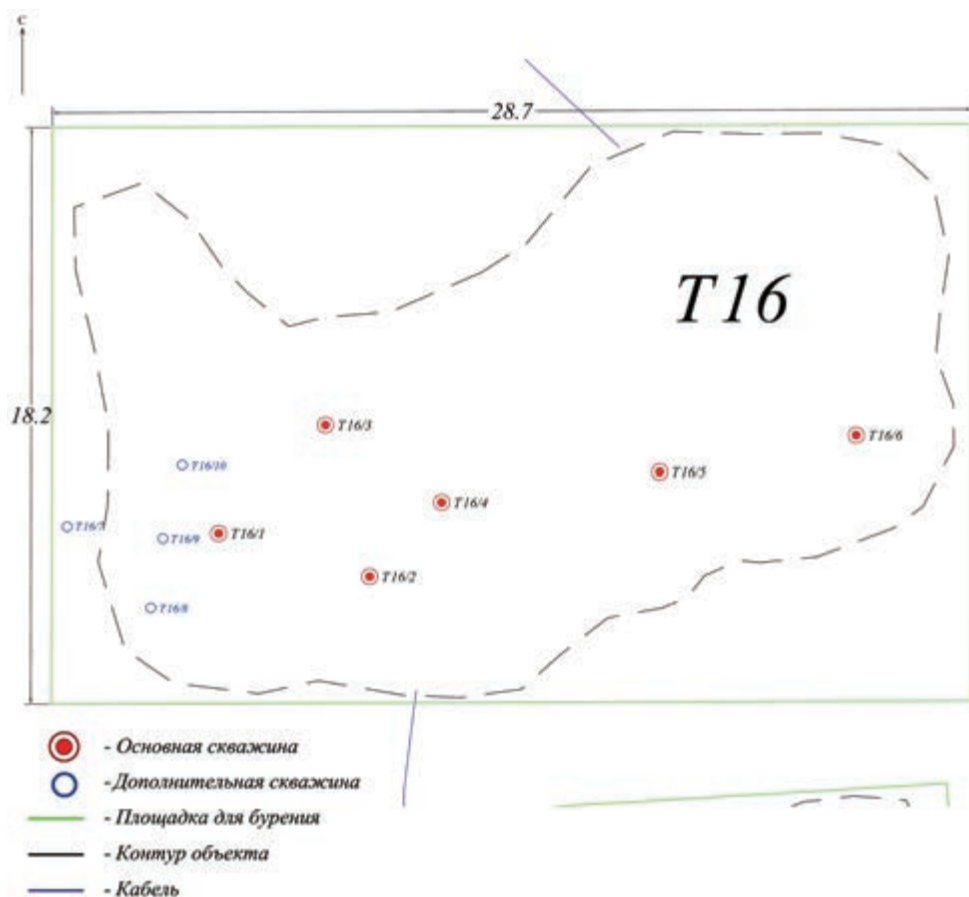


Рисунок 2.88. Схема бурения скважин на объекте Т16

В результате проведения всех исследований значимого загрязнения выявлено не было. Загрязнение выявлено в незначительных количествах и только на поверхности объекта. Значения концентраций ^{241}Am достигают значений $n \times 10^4$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^5$ Бк/кг. Среднее значение $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ соотношения на обследуемом объекте равно $12,0 \pm 3,5$. Так же зафиксированы признаки наличия ^{235}U . Содержание суммы изотопов урана в анализируемых образцах достигает нескольких единиц ppm. При этом, среднее содержание ^{235}U составило 0,89%, что выше значения природного соотношения (0,70%). Данный факт свидетельствует о наличии низкообогащенного урана на объекте Т16.

Объект Т17. Траншея Т17 относится к юго-западной группе траншей, расположенных на площадке. Она имеет узкую каплевидную форму и отличается сложным рельефом вследствие наличия признаков земляной отсыпки на поверхности и глубокого провала в «головной» части (Рисунок 2.89). Анализ распределения ^{241}Am демонстрирует существенное влияние земляной поверхностной отсыпки на радиационную ситуацию.

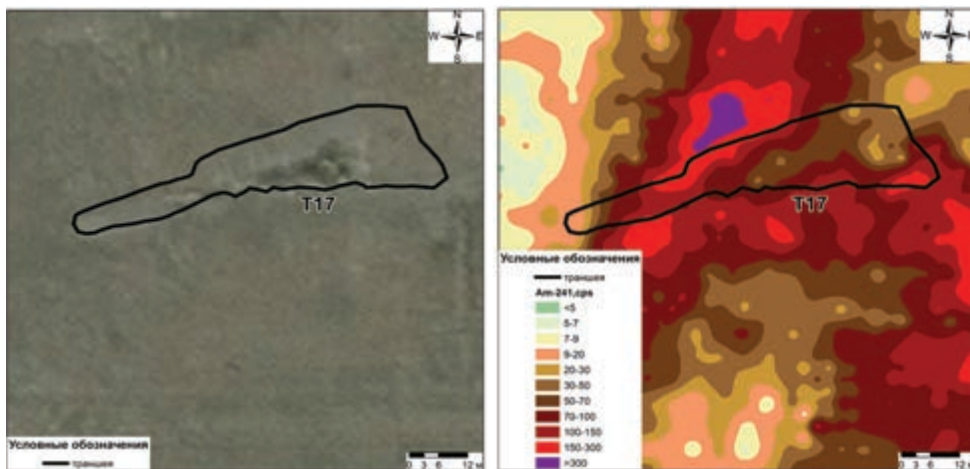


Рисунок 2.89. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте Т17

Для выяснения детальной картины распространения загрязнения ОЯД на объекте был произведен гамма-каротаж в 26 скважинах (11 основных и 15 дополнительных (Рисунок 2.90).



Рисунок 2.90. Схема бурения скважин на объекте Т17

На основании данных, полученных в ходе проведения гамма-каротажа, было установлено, что наибольший уровень радиоактивного загрязнения сконцентрирован в «головной» части траншеи, в вытянутой области. Также зафиксированы два слоя загрязнения – поверхностный и глубинный. В некоторых скважинах отмечается наличие поверхностного загрязнения, которое распределено на большую глубину, около 2 м и более.

Результаты спектрометрических исследований показали, что концентрация ^{241}Am в поверхностном и глубинном слоях достигает $n \times 10^5$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^6$ Бк/кг. Среднее значение коэффициента отношения $^{239}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ составило $5,9 \pm 0,6$. Помимо трансурановых элементов были выявлены значимые концентрации ^{235}U с величиной удельной активности, достигающей значений нескольких сотен Бк/кг. Содержание суммы изотопов урана в анализируемых образцах варьирует и достигает нескольких десятков ppm. Стоит отметить, что превышение среднего кларкового содержания, равного 2,7 ppm, происходит за счет высокого содержания ^{238}U , а среднее содержание ^{235}U соответствует 0,56%, что меньше его природного соотношения 0,70%. Данный факт свидетельствует о наличии обедненного урана на объекте T17.

Объект T18. Объект представляет собой траншею со значительными неровностями рельефа и глубокими провалами грунта в выемке. Расположен в юго-западной части технической площадки П-2М. На рисунке (Рисунок 2.91) представлены космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am исследуемого объекта.

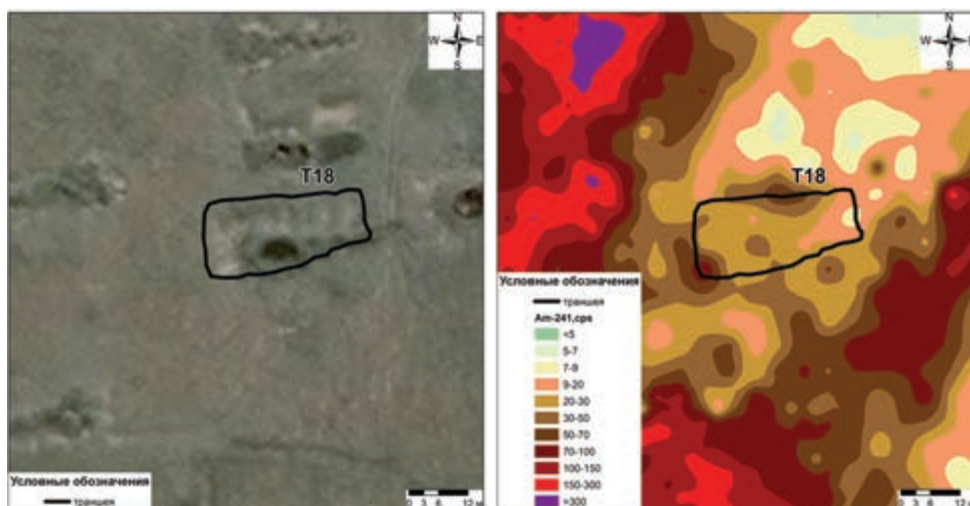


Рисунок 2.91. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте T18

Для определения зоны нахождения максимальной концентрации ОЯД и его распределения по глубине было проведено бурение 6 основных и 6 дополнительных скважин, сопровождающееся отбором проб почвы для последующего проведения лабораторных анализов (Рисунок 2.92).

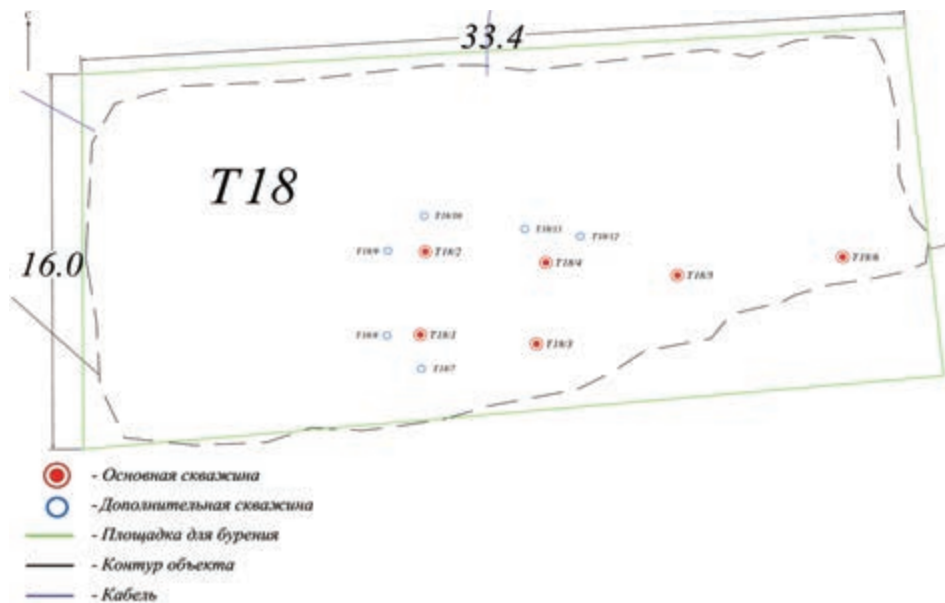


Рисунок 2.92. Схема бурения скважин на объекте Т18

Анализ результатов измерений, полученных с помощью гамма-каротажа, показал, что загрязнение объекта Т5 сконцентрировано, в основном, в «головной» части траншеи, а максимальное содержание ОЯД наблюдается на глубине 230-400 см и плавно изменяется вдоль оси траншеи. По результатам исследования было определено, что максимальные концентрации ОЯД сосредоточены в тонком слое толщиной до 50 см, описывающем «историческое» дно траншеи Т18.

Значения концентраций ^{241}Am в поверхностном и глубинном слоях достигло значений $n \times 10^6$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^6$ Бк/кг, а коэффициент их соотношения составил $10 \pm 1,1$. Содержание ^{235}U составило 270 Бк/кг. Содержание суммы изотопов урана в анализируемых образцах варьировало в широком диапазоне и достигало нескольких десятков единиц ppm. Анализ данных показал, что превышение кларкового содержания суммарного количества изотопов урана происходит за счет высокого содержания ^{238}U , а среднее содержание ^{235}U соответствует 0,56%. Данное значение меньше природного соотношения, равного 0,70%, что свидетельствует о наличии обедненного урана на объекте Т18.

Объект T19. Данный объект расположен в центральной части технической площадки П-2М в месте прохождения следа от поверхностного неядерно-взрывного эксперимента (Рисунок 2.93). T19 имеет сложный рельеф и глубокие провалы вдоль оси выемки.

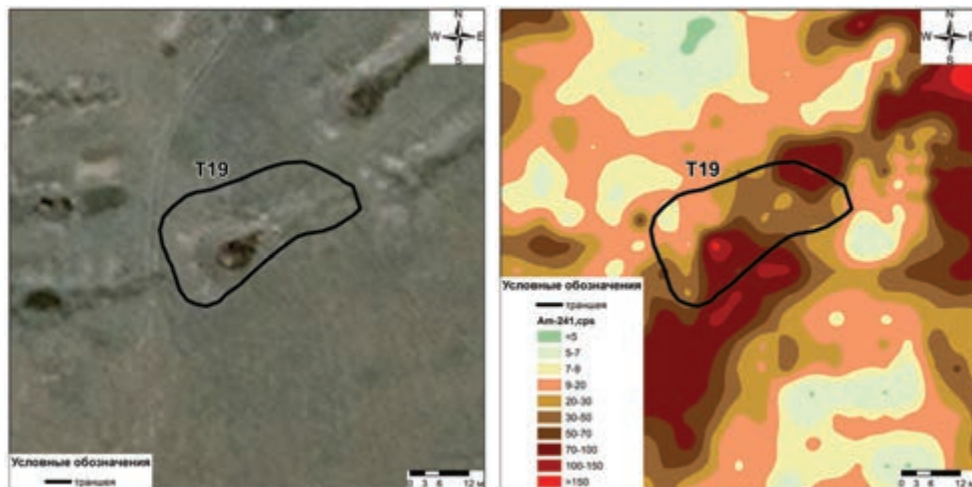


Рисунок 2.93. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте T19

Было пробурено 7 основных и 11 дополнительных скважин (Рисунок 2.94).

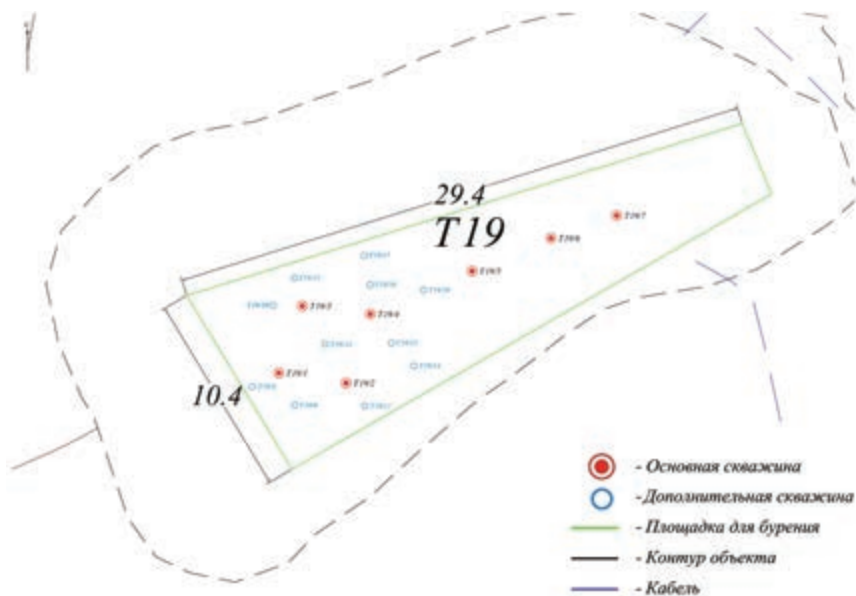


Рисунок 2.94. Схема бурения скважин на объекте T19

На основании данных, полученных при помощи гамма-каротажа, было установлено, что глубина регистрации максимумов концентрации меняется следующим образом: 380 – 350 – 330 – 325 – 240 – 200 – 150 см. При этом, в отличие от других траншей площадки П2-М, концентрация не уменьшается по мере приближения к «хвостовой» части объекта, а остается примерно на том же уровне. Явных признаков наличия поверхностного загрязнения не выявлено. В некоторых случаях отмечено пропорциональное повышение скорости счета гамма-импульсов в области ^{235}U .

По результатам спектрометрических измерений было определено, что значения концентрации ^{241}Am в поверхностном и глубинном слоях достигают $n \times 10^5$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^6$ Бк/кг, ^{235}U – 440 Бк/кг. Коэффициент соотношения $^{239}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ на объекте Т19 равен $9,3 \pm 1,0$. Содержание суммы изотопов урана в анализируемых образцах достигает десятков единиц ppm. Среднее содержание ^{235}U в почве данной траншеи соответствует 0,49%, что меньше значения природного соотношения (0,70%), однако в одной из скважин массовая доля ^{235}U превышает 1%, что свидетельствует об определенном обогащении урана.

Объект Т20. Данный объект расположен в центре испытательной площадки. По контуру траншеи наблюдается центральный провал в поверхностной земляной отсыпке. На поверхности объекта радиационная ситуация является крайне неравномерной – зоны фонового загрязнения ^{241}Am чередуются с участками существенных точечных загрязнений (Рисунок 2.95).

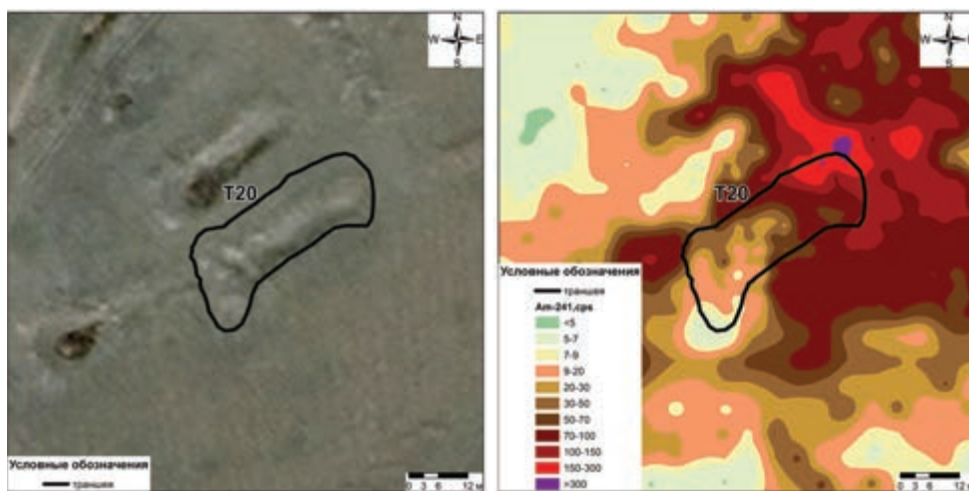


Рисунок 2.95. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте Т20

Для обследования траншеи T20 было пробурено 16 скважин (7 основных и 9 дополнительных) (Рисунок 2.96).



Рисунок 2.96. Схема бурения скважин на объекте T20

Исходя из данных вертикального гамма-каротажа можно отметить, что основная часть ОЯД сконцентрирована в «головной» части траншеи. Изучение данных показало разделение загрязнения на два слоя – умеренный поверхностный и повышенный глубинный. Глубина залегания ОЯД составила от 150 до 330 см. Нужно отметить, что «хвостовая» часть траншеи также содержит высокие концентрации трансурановых элементов, что нехарактерно для данных объектов площадки П-2М.

Анализ результатов спектрометрических измерений показал, что концентрация ^{241}Am в поверхностном и глубинном слоях соответствует $n \times 10^5$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^6$ Бк/кг, а коэффициент соотношения $^{239}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ на объекте T20 равен $9,0 \pm 0,7$. Содержание суммы изотопов урана в анализируемых образцах варьирует в широком диапазоне и достигает десятков ppm. Превышение кларкового содержания, равного 2,7 ppm, происходит за счет высокого содержания ^{238}U . При этом, среднее содержание ^{235}U со-

ответствует 0,64%, что меньше его природного значения 0,70%. Данный факт свидетельствует о наличии обедненного урана на объекте T20.

Объект T26. Траншея расположена в северной части технической площадки П-2М вблизи крупного участка площадного загрязнения трансурановыми радионуклидами, образовавшегося, предположительно, в результате подрыва нескольких неядерно-взрывных зарядов на близком расстоянии друг от друга (Рисунок 2.97).

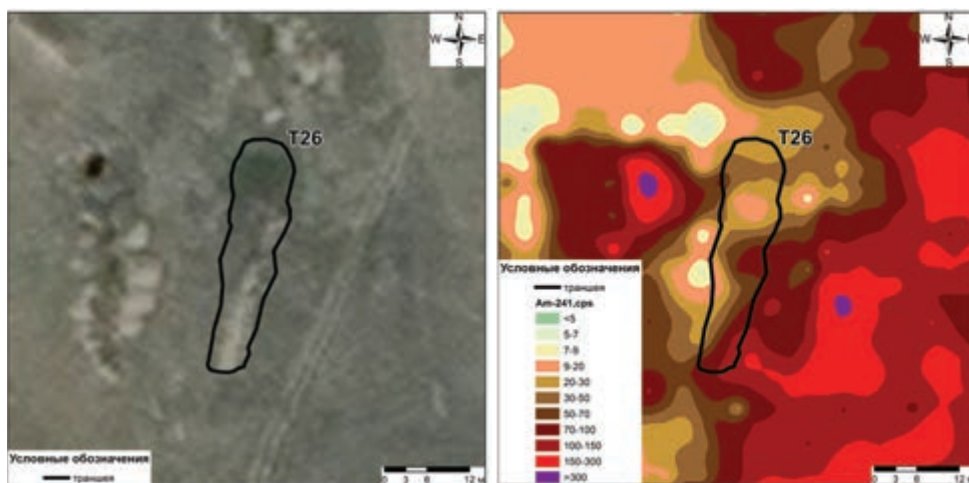


Рисунок 2.97. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте T26

На объекте были пробурены 10 основных и 5 дополнительных скважин (Рисунок 2.98).

В результате проведенных исследований было определено, что загрязнение объекта T26 сконцентрировано, в основном, в районе 8 скважины. Глубина залегания максимумов в вышеописанной области составляет около 160-170 см.

Значение концентрации ^{241}Am в глубинном слое достигает $n \times 10^3$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^4$ Бк/кг, ^{235}U – 317 Бк/кг. Среднее значение изотопного соотношения $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ на обследуемом объекте равно $10,0 \pm 0,7$. Сумма концентраций изотопов урана находилась в диапазоне до десятков единиц ppm. Поскольку среднее кларковое содержание составляет 2,7 ppm, то превышение данного порога говорит о существовании привнесенного извне урана. Превышение кларкового содержания происходит за счет высокого содержания ^{238}U , а среднее содержание ^{235}U соответствует 0,67%. Это значение меньше природного соотношения (0,70%). Данный факт свидетельствует о наличии обедненного урана на объекте T26.



Рисунок 2.98. Схема бурения скважин на объекте T26

Объект T27. Данная траншея расположена в центральной части площадки П-2М в непосредственной близости к земляной насыпи «НЗ» (Рисунок 2.99).

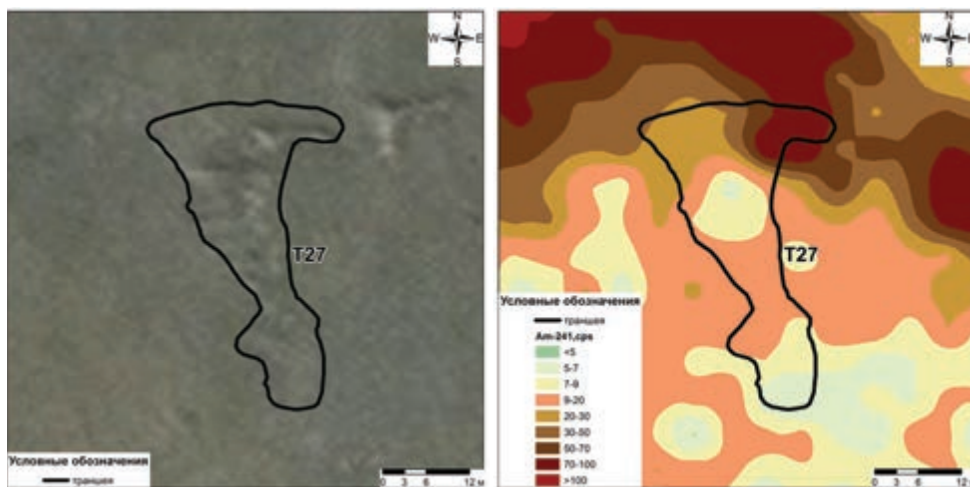


Рисунок 2.99. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте T27

Обследование объекта T27 выполнялось с помощью пробуренных основных и дополнительных скважин (9 основных и 9 дополнительных) (Рисунок 2.100).



Рисунок 2.100. Схема бурения скважин на объекте T27

В результате проведенных исследований установлено, что максимальное загрязнение сконцентрировано в окрестностях скважины 4, на глубине 295-310 см.

Анализ лабораторных данных показал, что концентрации ^{241}Am в поверхностном и глубинном слоях достигают значений $n \times 10^5$ Бк/кг, ^{239}Pu - $n \times 10^6$ Бк/кг. Среднее значение изотопного соотношения $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ $9,2 \pm 0,1$. Концентрация суммы изотопов урана находится в диапазоне до десятка ppm при среднем кларковом содержании 2,7 ppm, что свидетельствует о явных признаках наличия привнесенного урана. Массовая доля ^{235}U соответствует 0,53%, что говорит о присутствии на территории обследуемого объекта обедненного урана.

Объект T28. Траншея T28 расположена в центральной зоне площадки, в окружении других подобных объектов. Первичное обследова-

ние показало, что объект имеет ровный рельеф и трудно идентифицируется как на местности, так и на космическом снимке (Рисунок 2.101). Определить объект T28 помог земляной провал, который образовался в земляной отсыпке с течением времени. Площадное загрязнение на объекте является неравномерным, что объясняется наличием отсыпки из чистого грунта (Рисунок 2.101).



Рисунок 2.101. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте T28

Для проведения обследования траншеи было пробурено 9 скважин (5 основных и 4 дополнительных) (Рисунок 2.102).



Рисунок 2.102. Схема бурения скважин на объекте T28

Анализ данных, полученный с помощью метода гамма-каротажа, выявил, что наиболее загрязненной является часть траншеи в районе скважин 1-5, а максимальные уровни загрязнения обнаружены на глубине 190-330 см. Обследование показало, что, как и на большинстве других траншей, загрязнение имеет максимальную глубину залегания в «головной» части объекта Т28 и плавно снижается вдоль оси по направлению к «хвостовой» части. Выявленное поверхностное загрязнение связано с загрязнением земляной отсыпки траншеи от других поверхностных испытаний, осуществляемых на площадке П-2М. Концентрация ^{241}Am в поверхностном и глубинном слоях достигает $n \times 10^6$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^7$ Бк/кг, ^{235}U – 270 Бк/кг. На основании результатов измерений был рассчитан коэффициент отношения $^{239}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$, среднее значение которого составило $9,0 \pm 1,1$. Содержание суммы изотопов урана в почве Т28 достигает десятков единиц ppm при среднем кларковом содержании 2,7 ppm, что свидетельствует о признаках наличия привнесенного урана. Массовая доля ^{235}U при этом составила 0,67%, что свидетельствует о присутствии на объекте урана с соотношением изотопов, близким к природному.

Объект Т29. При первичном осмотре объекта было определено, что траншея имеет равномерный рельеф и представляет собой каплевидную земляную выемку подобно другим объектам данного типа. В земляной отсыпке обследуемой траншеи имеется зона провала. Траншея расположена в непосредственной близости насыпи «Н12». Анализируя площадное загрязнение территории Т29 было отмечено, что из отсыпанной эпицентральной зоны (самой траншеи) в северо-восточном направлении берут начало два следа радиоактивных выпадений (Рисунок 2.103).

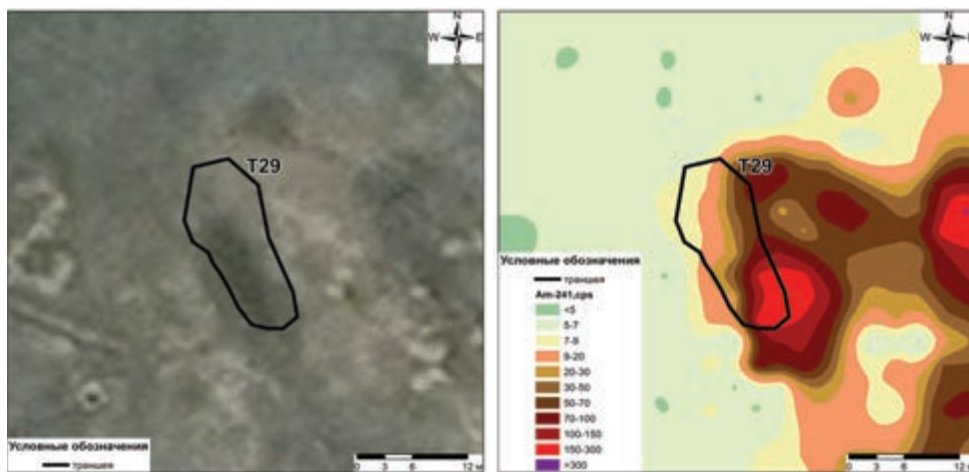


Рисунок 2.103. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте Т29

Для изучения распределения ОЯД по глубине на объекте Т29 было проведено бурение 5 основных и 4 дополнительных скважин (Рисунок 2.104).

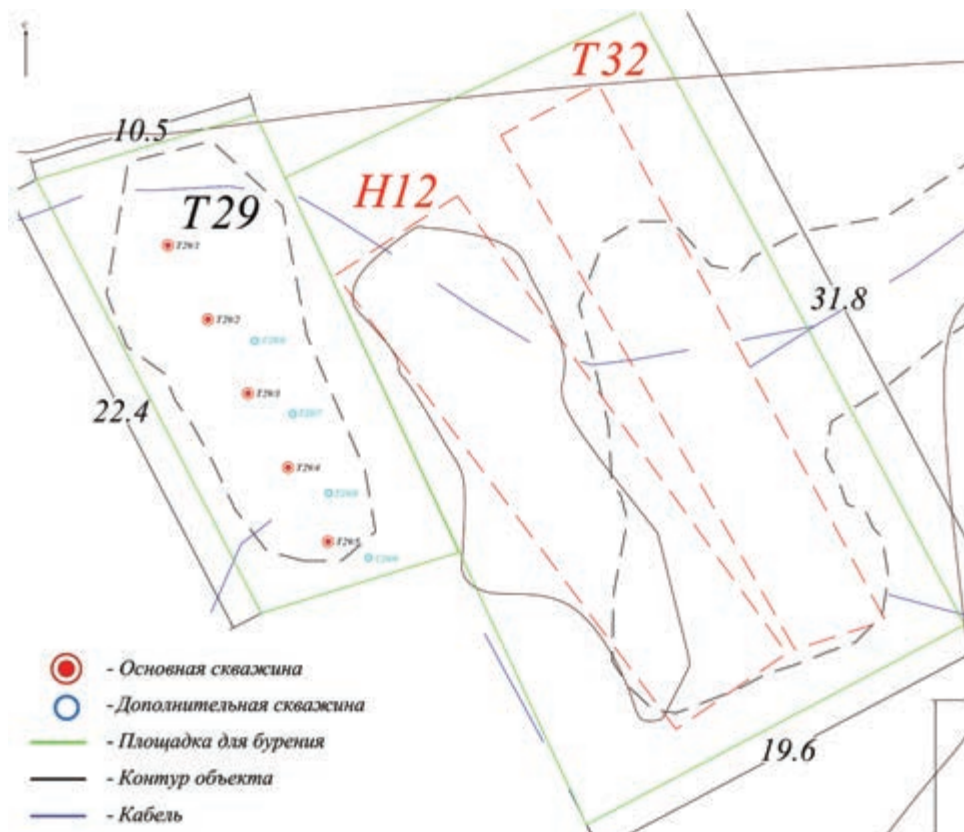


Рисунок 2.104. Схема бурения скважин на объекте Т29

Исследование данных, полученных с помощью гамма-каротажа, показало, что наиболее загрязненной областью является «нижняя» часть траншеи, а концентрации ОЯД повышаются от скважины 1 к скважине 5. Исследование показало, что слой залегания максимальных концентраций ОЯД соответствует глубине 230-330 см. Концентрация ^{241}Am в поверхностном слое достигает 1000 импульс/с, а в глубинном слое превышает данный показатель.

Анализ данных спектрометрических измерений показал, что значения концентраций ^{241}Am в поверхностном и глубинном слоях достигают значений $n \times 10^5$ Бк/кг, $^{239}\text{Pu} - n \times 10^6$ Бк/кг. На основании результатов спектрометрических измерений были рассчитаны изотопные соотношения $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$, среднее значение которых равно 11 ± 1 .

Высокое содержание ОЯД отмечается как в поверхностном слое, что может быть связано с проведением поверхностных неядерно-взрывных экспериментов в непосредственной близости траншеи после ее отсыпки чистым грунтом, так и в глубине, под отсыпкой.

Объект Т31. Объект обследования находится в восточной части площадки П-2М, в окружении других подобных объектов. Траншея имеет каплевидную вытянутую форму с наличием провалов вдоль ее оси и насыпей по ее периметру. Анализ данных показал, что вследствие наличия отсыпки из чистого грунта и следов от других неядерно-взрывных экспериментов, площадное загрязнение территории объекта является неравномерным (Рисунок 2.105).

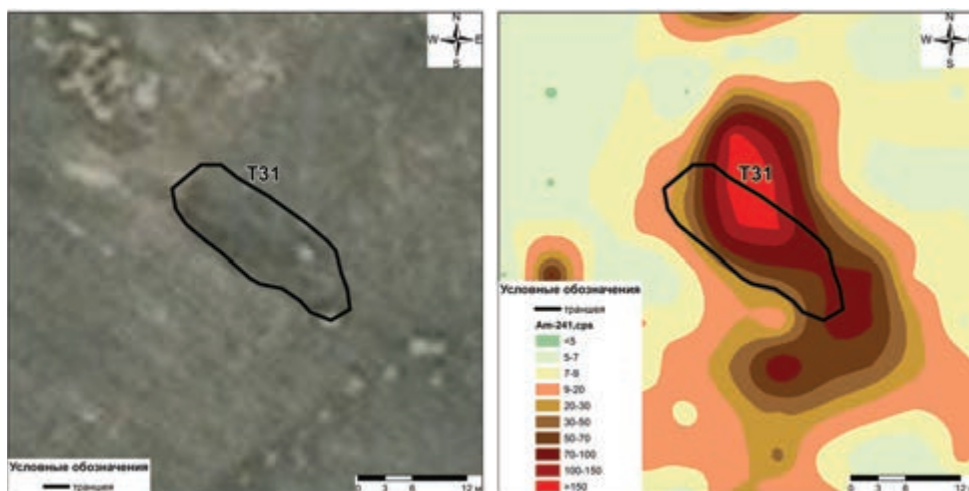


Рисунок 2.105. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте Т31

При обследовании были пробурены 7 основных и 8 дополнительных скважин на объекте Т31 (Рисунок 2.106).

Проведенное обследование показало, что наибольшее количество ОЯД расположено в «головной» части траншеи, в районе скважины 7. Объект Т31 является типичным для П-2М, в нем прослеживается та же особенность, что и на большинстве траншей – глубина залегания максимальных концентраций ОЯД меняется по мере движения от «головной» к «хвостовой» части (325 – 265 – 175 – 115 – 80 – 40 см). В «хвостовой» части наибольшим образом проявляет себя поверхностный тип загрязнения. Помимо трансурановых элементов, на объекте выявлен низкообогащенный уран. Концентрация ^{241}Am в поверхност-

ном и глубинном слоях достигает значений $n \times 10^5$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^6$ Бк/кг. Удельная активность ^{235}U находится на уровне 210 Бк/кг.

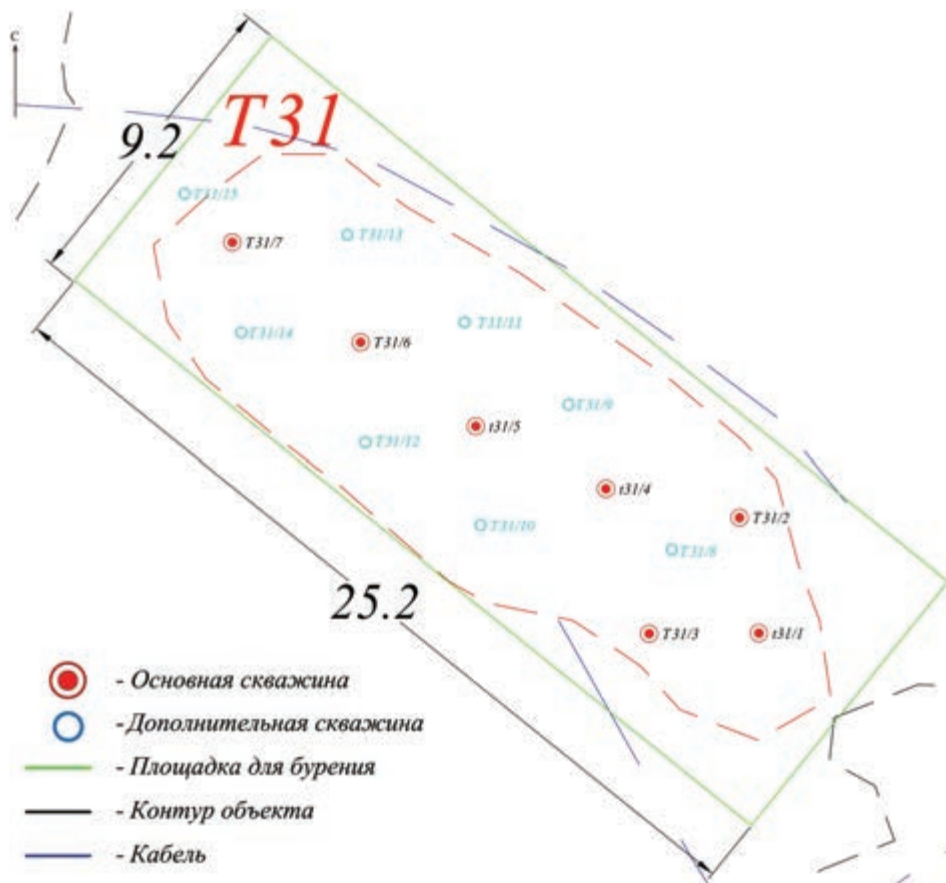


Рисунок 2.106. Топография объекта Т31

Объект Т32. Данная траншея расположена в восточной части площадки П-2М. Первичный осмотр показал, что траншея имеет неравномерный рельеф и представляет земляную выемку, имеющую признаки земляной отсыпки и провалы. Исследование площадного загрязнения показало, что для объекта Т32, как и для большинства объектов на территории П-2М, характерно неравномерное радиоактивное загрязнение. Из эпицентральной части в северо-восточном направлении исходят два следа радиоактивных выпадений от неядерно-взрывных экспериментов (Рисунок 2.107).

Для детального обследования объекта было проведено бурение 7 основных и 9 дополнительных скважин (Рисунок 2.108).

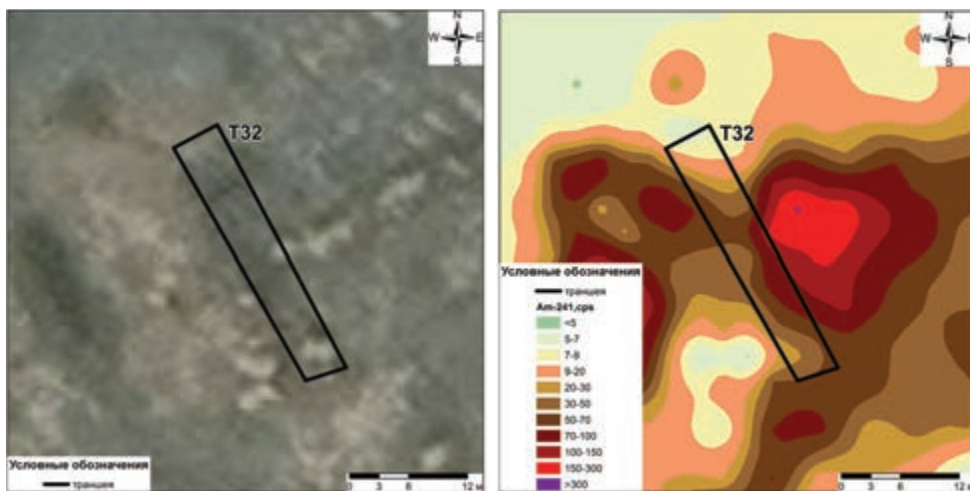


Рисунок 2.107. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте T32

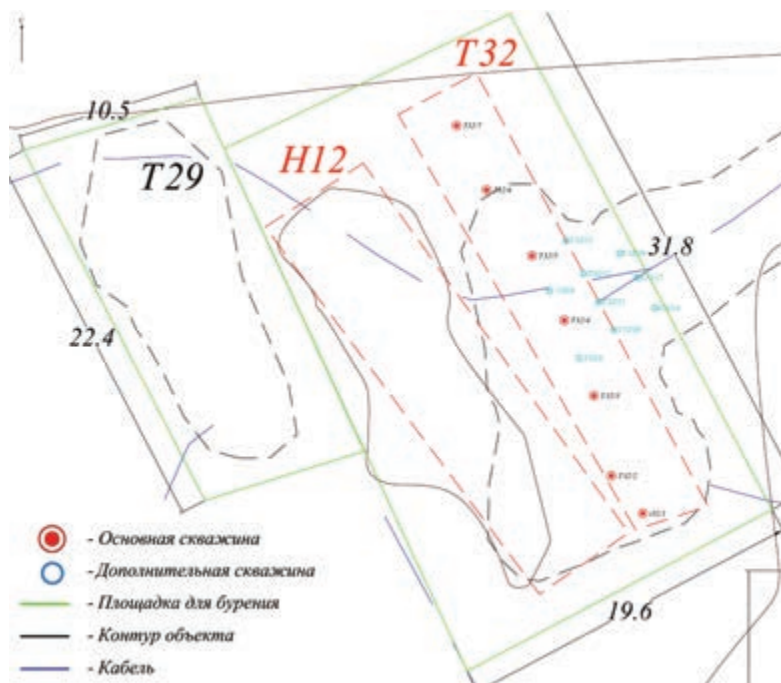


Рисунок 2.108. Схема бурения скважин на объекте T32

Анализ данных, полученный с использованием гамма-каротажа, показал, что зона максимальной концентрации ОЯД сконцентрирована в районе скважины 4. Было определено, что на обследованной траншее, как и на большинстве других траншей технической площадки, имеются как по-

верхностное, так и глубинное загрязнение. Поверхностное радиоактивное загрязнение произошло от следов радиоактивных выпадений от неядерно-взрывных экспериментов. Глубинное загрязнение в центральной части траншеи сосредоточено на уровне около 200 см относительно земляной отсыпки, при этом было отмечено, что глубина залегания ОЯД варьирует в зависимости от месторасположения скважины. Это объясняется возможным распределением ОЯД не по плоской поверхности, а по вогнутой («чашеобразной»), образовавшейся в результате проведенного эксперимента.

По результатам спектрометрических измерений было определено, что концентрации ^{241}Am в поверхностном и глубинном слоях достигают значений $n \times 10^4$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^5$ Бк/кг. На основании полученных данных был рассчитан коэффициент соотношения $^{239}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$, равный 15 ± 7 . Содержание суммы изотопов урана на территории объекта Т32 достигает единиц ppm. Данный диапазон превышает среднее кларковое содержание, равное 2,7 ppm, и говорит о признаках наличия изотопов урана, привнесенных извне. Также было определено, что среднее содержание ^{235}U соответствует 1,03%, и это значение выше природного соотношения, равного 0,70%, что означает наличие на объекте низкообогащенного урана.

Объект Т34. Объект представляет собой земляную выемку в виде траншеи с признаками земляной отсыпки, расположенную в северной части технической площадки. По результатам поверхностного обследования было определено, что распределение ^{241}Am в отношении неоднородно. Также, с помощью метода ДГСС, были идентифицированы несколько следов радиоактивных выпадений (Рисунок 2.109).

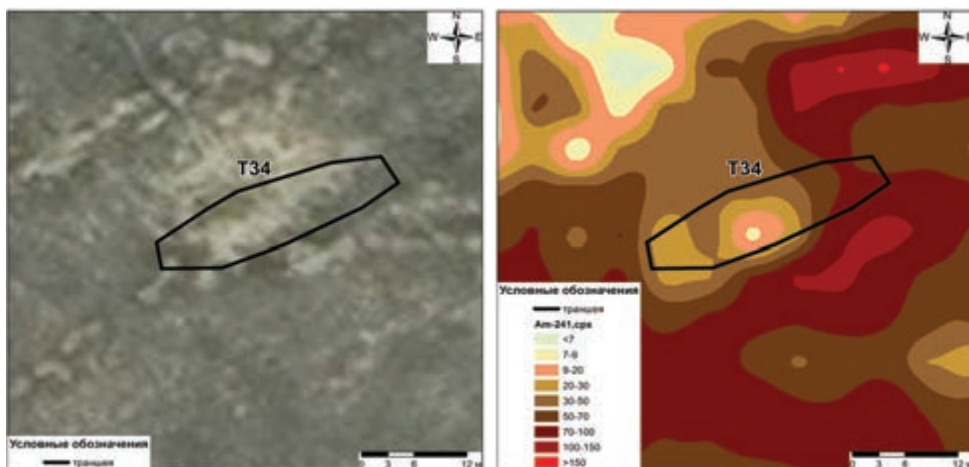


Рисунок 2.109. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте Т34

При обследовании были пробурены 7 основных и 8 дополнительных скважин (Рисунок 2.110).

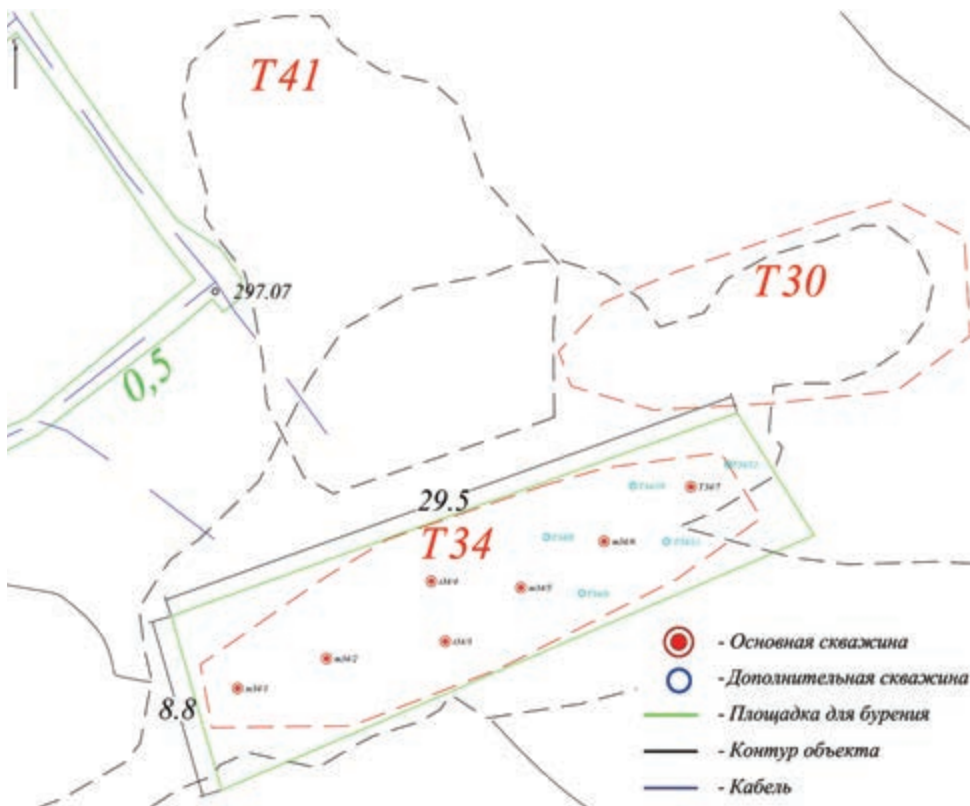


Рисунок 2.110. Схема бурения скважин на объекте Т34

Анализ данных гамма-каротажа показал, что основные запасы ОЯД сосредоточены в области расположения скважин 6, 7, 8, 9, 11 и 12. Аналогично загрязнению большинства обследованных траншей, расположенных на территории площадки П-2М, на Т34 имеются как поверхностное, так и глубинное загрязнение. Глубина залегания максимальных концентраций ОЯД варьирует от 200 до 360 см. Изучение вариаций глубины дало основание полагать, что ОЯД распределены по вогнутой поверхности наподобие чаши, возникшей в результате проведения неядерно-взрывного эксперимента. Анализ распределения поверхностного загрязнения на обследуемом объекте показал, что оно может быть связано с выпадением диспергированных ОЯД от других экспериментов, осуществленных на П-2М.

По результатам спектрометрических измерений было определено, что значения концентраций ^{241}Am в поверхностном и глубинном слоях достигают значений $n \times 10^5$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^6$ Бк/кг. Коэффициент отношения ^{239}Pu к ^{241}Am на объекте Т34 равен $10 \pm 1,0$. Содержание суммы изотопов урана в анализируемых образцах достигает десятков единиц ррт при среднем кларковом содержании 2,7 ррт. Данный факт свидетельствует о явных признаках наличия привнесенного урана на исследуемом объекте. При этом, среднее содержание ^{235}U соответствует 0,89%, что превышает природное содержание, которое составляет 0,70%.

Объект Т35. Объект расположен в северной части площадки П-2М, неподалеку от траншеи Т1, в зоне скопления множества других траншей (Рисунок 2.111). Т35 представляет собой земляную выемку неправильной вытянутой формы в виде траншеи с признаками земляной отсыпки по центру объекта и двумя провалами по обоим концам объекта. Анализ результатов ДГСС показал, Т35 находится в зоне значительного поверхностного загрязнения ^{241}Am (Рисунок 2.111).

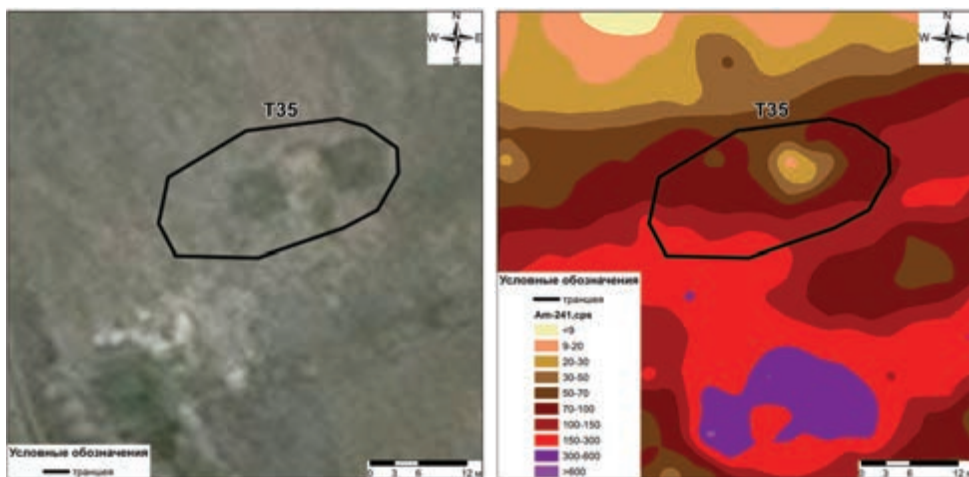


Рисунок 2.111. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте Т35

При обследовании были пробурены 4 основных и 3 дополнительных скважин (Рисунок 2.112).

Анализ данных гамма-каротажа подтвердил наличие поверхностного слоя радиоактивного загрязнения. Загрязнение, вероятней всего, связано с проведением неядерно-взрывных экспериментов на соседних объектах в непосредственной близости к обследованной траншее.

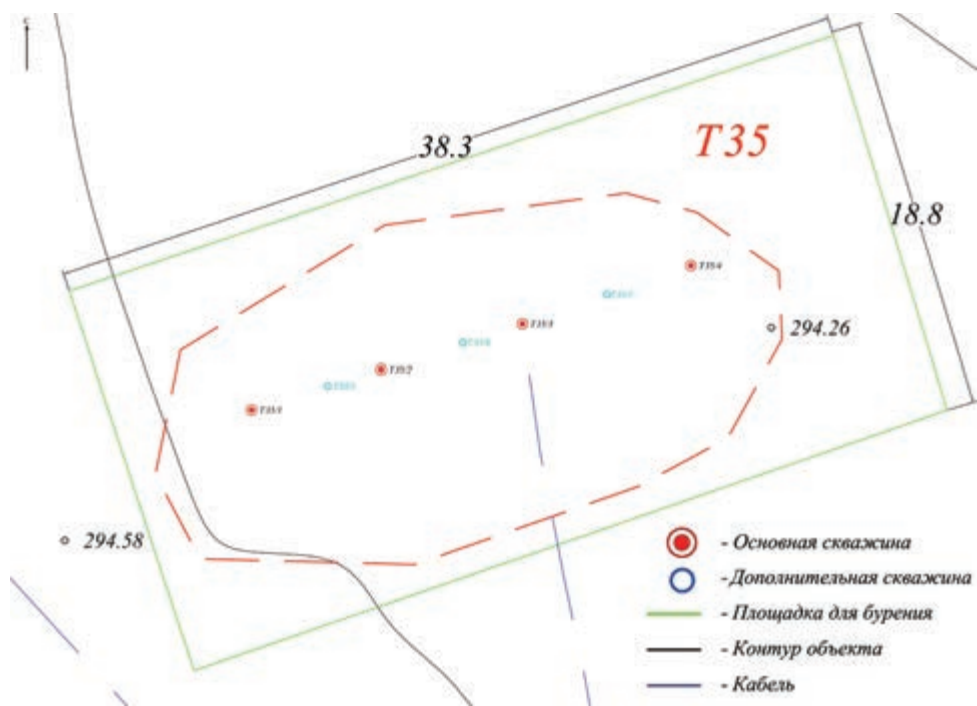


Рисунок 2.112. Схема бурения скважин на объекте Т35

Изучение результатов лабораторных измерений показало, что концентрация ^{241}Am в поверхностном слое глубиной 0-90 см достигает значений $n \times 10^4$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^3$ Бк/кг. Содержание суммы изотопов урана в анализируемых образцах почвы варьирует до десятков ppm, что превышает среднее кларковое содержание, равное 2,7 ppm. Выявленный уран имеет слабую степень обогащения, не превышающую 0,9%. Данный факт свидетельствует о наличии привнесенного уранового загрязнения на объекте Т35 в поверхностном слое почвенного покрова.

Объект Т41. Объект представляет собой земляную выемку в виде траншеи с признаками земляной отсыпки, расположенную в юго-восточной части площадки П-2М. Обследованная траншея имеет достаточно неравномерный рельеф и представляет собой небольшое возвышение, образовавшееся посредством земляной отсыпки. Для траншеи также характерно наличие провалов в грунте. По результатам поверхностного обследования было определено, что распределение ^{241}Am достаточно неоднородно, имеются локальные пятна повышенных концентраций. Из эпицентральной части в различные направления исходят следы ОЯД (Рисунок 2.113).

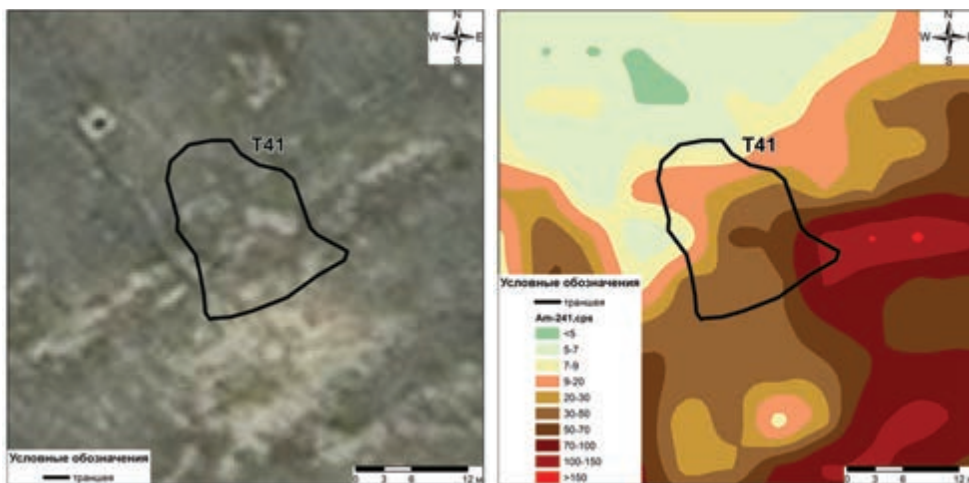


Рисунок 2.113. Космический снимок и схема площадного распределения ^{241}Am на объекте T41

Для определения зоны нахождения максимальной концентрации ОЯД и установления распределения ОЯД по глубине было проведено бурение 5 основных и 19 дополнительных скважин (Рисунок 2.114).

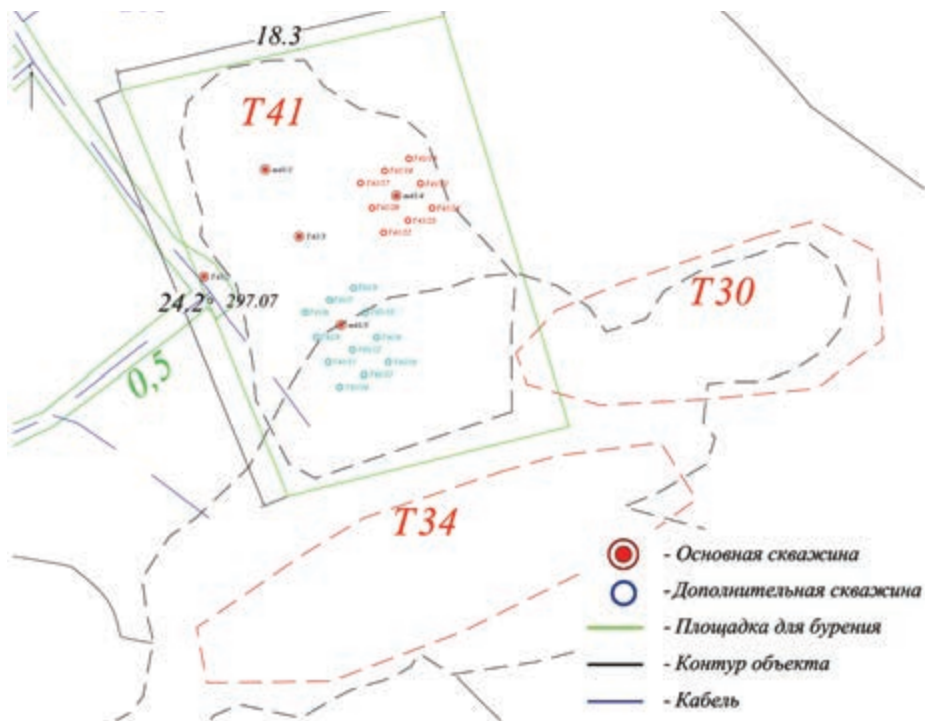


Рисунок 2.114. Схема бурения скважин на объекте T41

Анализ данных гамма-каротажа показал, что основные запасы ОЯД сосредоточены в области расположения скважины 4 и окружающих ее скважин 20, 21, 22, 23, 24. Исследования показали, что на Т41 существует как поверхностное, так и глубинное загрязнение. Глубина залегания максимальных концентраций ОЯД составляет около 380 см. Анализ распределения загрязнения на данной траншее показал, что поверхностное загрязнение, вероятней всего, связано с выпадением диспергированных ОЯД от других экспериментов, осуществленных на территории технической площадки, тогда как глубинное загрязнение сформировано экспериментом, проведенным непосредственно на самом объекте.

Рассмотрение результатов спектрометрических измерений показало, что значения концентрации ^{241}Am в поверхностном и глубинном слоях достигает $n \times 10^5$ Бк/кг, ^{239}Pu – $n \times 10^6$ Бк/кг. Установленный коэффициент соотношения материалов ОЯД $^{239}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ на объекте Т41 равен $9,4 \pm 0,9$. Исследования показали присутствие как обедненного, так и низкообогащенного урана. Содержание суммы изотопов урана в анализируемых образцах варьирует до десятков единиц ppm при среднем кларковом содержании 2,7 ppm.

Анализ лабораторных данных, полученный в течение многолетних исследований, показал, ряд обследуемых траншей являются объектами с повышенными концентрациями ОЯД в приповерхностном слое. Радионуклидом, составляющим основу ОЯД, является Pu, однако также были выявлены высокие концентрации ^{238}U , значения которых достигают десятков ppm. Удельная активность ^{239}Pu в грунте этих объектов находится в диапазоне значений от $n \times 10^5$ Бк/кг до $n \times 10^7$ Бк/кг. Концентрации ^{235}U в грунте этих объектов находится в диапазоне значений до десятков единиц ppm.

Помимо траншей были обследованы и другие антропогенные объекты – насыпи и гребни, приборные колодцы. Предварительное обследование не выявило поверхностного радиоактивного загрязнения приборных колодцев.

Объекты типа «гребень» были сформированы путем сгребания (перемещением) значительных масс поверхностного слоя почвы тяжелой техникой в одном направлении. Предположительно, целью их создания являлось проведение ремедиационных мероприятий. По результатам поверхностного обследования было определено, что объекты Г1, Г3, Г4, Г7 находятся в зоне значительного поверхностного загрязне-

ния ^{241}Am , тогда как на объектах Г2, Г5, Г6 загрязнения трансурановыми элементами не выявлено. Для исследования характера глубинного распределения радиоактивного загрязнения на данных объектах было проведено бурение 18 скважин, от 2 до 5 скважин на 1 объект. Изучение вертикального распределения ^{241}Am показало, что повышенные концентрации радионуклида, варьирующие от $n \times 10^4$ Бк/кг до $n \times 10^5$ Бк/кг, характерны для Г1, Г2, Г3, Г4, тогда как на других объектах данного типа существенных концентраций ОЯД в ходе обследования не обнаружено [3].

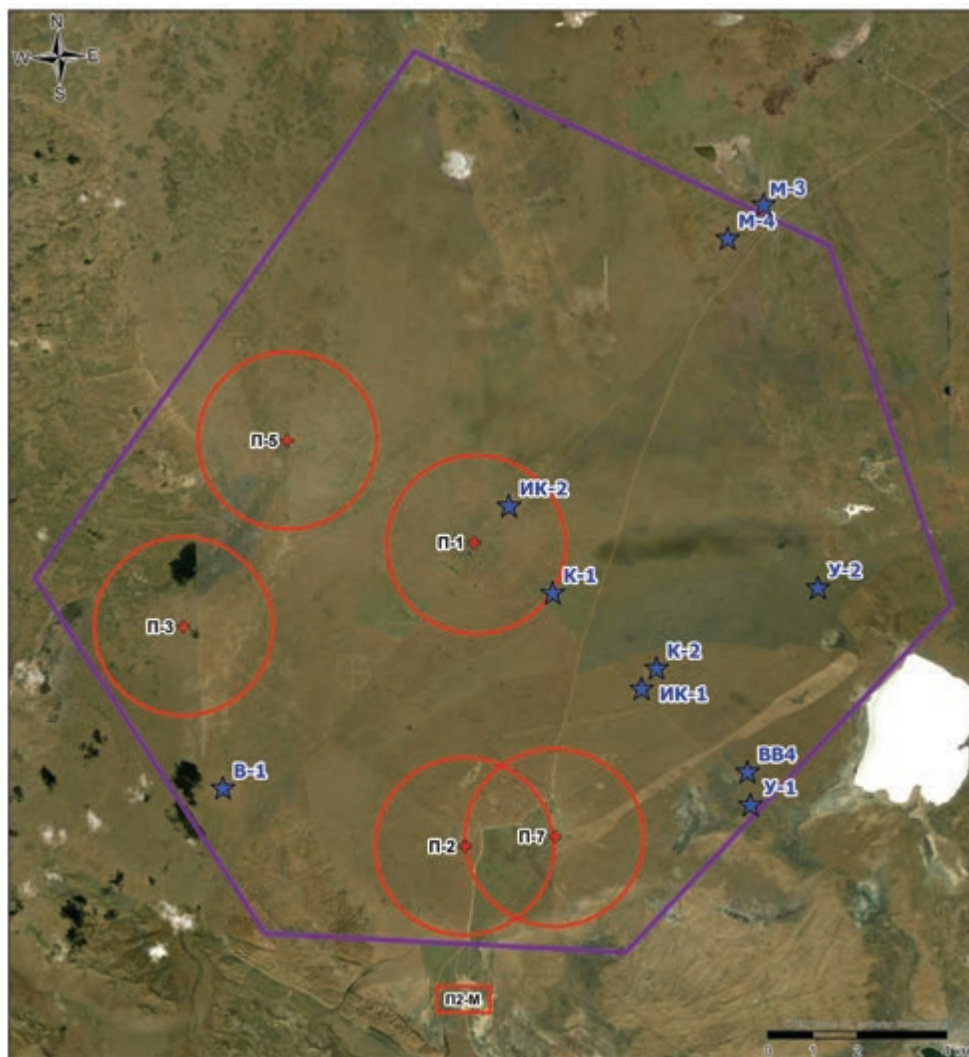
Антропогенные объекты типа «насыпи» представляют собой грунтовые (земляные) насыпи, расположенные в непосредственной близости к приборным колодцам и траншеям. Анализ данных, полученный в результате проведения ПГСС, показал, что на территории объектов отмечено незначительное неравномерное площадное распределение ^{241}Am [3]. Исследование вертикального распределения ОЯД проводилось при помощи бурения скважин, сопровождавшегося отбором проб грунта и проведением лабораторных анализов. Всего было пробурено 86 скважин, от 3 до 12 скважин на 1 объект. Анализ полученных данных показал, что в насыпях содержание ОЯД сконцентрировано в поверхностном слое почвы 0-1,2 м. Удельная активность ^{241}Am не превысила $n \times 10^3$ Бк/кг, ^{235}U – $n \times 10^2$ Бк/кг. В 8 объектах типа «Н» (Н-1, Н-2, Н-3, Н-4, Н-5, Н-7, Н-8, Н-13) выявлены значения урана, изотопный состав которого смещен в сторону значительного обогащения по ^{235}U (до 13%). Абсолютное содержание урана в грунтах насыпей составила более 100 ppm. При этом, техногенным ураном в большей степени загрязнены верхние слои грунта насыпей (40-120 см).

В результате анализа результатов обследования технической площадки П-2М установлено 27 объектов (траншеи), которые содержат ОЯД с концентрацией выше 1 ppm.

По данным результатов обследования Т35 концентрация ОЯД в поверхностном слое грунта не превышает 1 ppm. Тем не менее, было предположено, что, вследствие нахождения данного объекта в зоне значительного поверхностного загрязнения, возникшего в результате проведения поверхностных неядерно-взрывных экспериментов, в поверхностном слое Т35, в пределах досягаемости могут находиться локальные участки, содержащие ОЯД свыше 1 ppm. В связи с этим было принято решение отнести объект Т35 к объектам, содержащим ОЯД в концентрациях выше установленных критериев.

2.2.5. Объекты вне технических площадок

В период обследования территории испытательной площадки «Опытное поле» были выявлены техногенные объекты, располагающиеся вне технических площадок: М-3, М-4, ИК-1, ИК-2, К-1, К-2, У-1, ВВ-4 и В-1 (Рисунок 2.115). Выявленные объекты имели различные происхождения и уровни радиоактивного загрязнения.



Условные обозначения

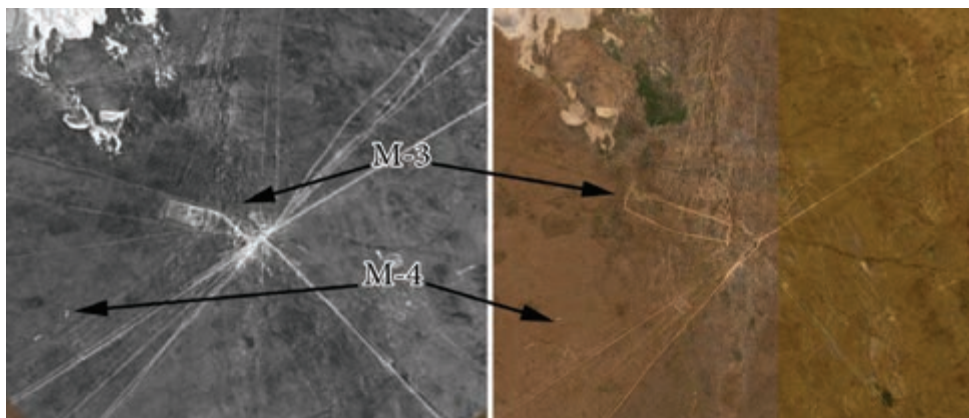
- ★ участки
- ◆ центральные точки технических площадок
- ▭ граница площадки "Опытное поле"
- ▭ граница технических площадок

Рисунок 2.115. Технические площадки и техногенные объекты испытательной площадки «Опытное поле»

Техногенный объект М-3

М-3 представляет собой могильник, использовавшийся для захоронения радиоактивных материалов и других отходов в период проведения ядерных испытаний. Данный техногенный объект расположен в северо-восточной части испытательной площадки «Опытное поле», в 9 км от технической площадки П-1 (Рисунок 2.116).

М-3 состоит из трех участков прямоугольной формы, обнесенных земляной насыпью высотой до 10-30 см. Общая длина объекта составляет 600 м, ширина – 110-140 м.



а) Космический снимок с КА КН-7 GAMBIT 1966 г. и современный снимок района объектов М-3 и М-4



б) Космический снимок объекта М-3 с нумерацией участков
Рисунок 2.116. Космический снимок объектов М-3 и М-4

В результате работ по первичному обследованию техногенного объекта М-3 в 2012 г. были обнаружены фрагменты с повышенным содержанием изотопов урана (Рисунок 2.117).

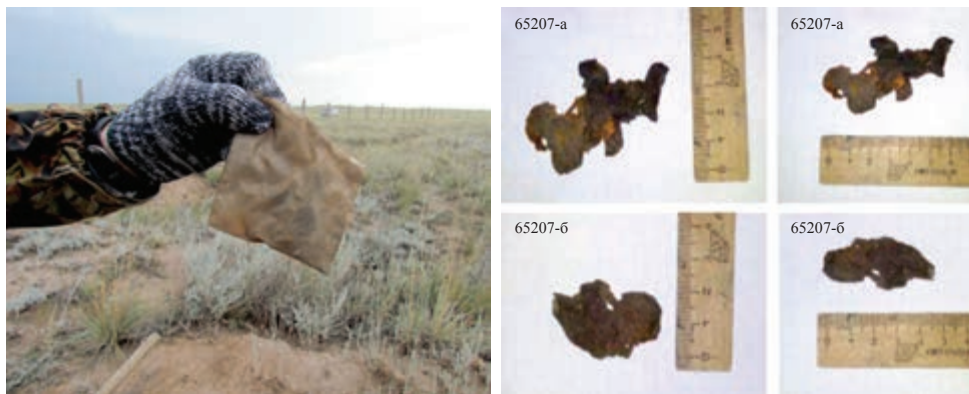


Рисунок 2.117. Выявленные радиоактивные фрагменты в поверхностном слое почвы объекта М-3

С целью детального обследования М-3 в 2013 г. проведена ПГСС (Рисунок 2.118) с отбором проб поверхностного слоя почвы и последующими лабораторными анализами.

Диапазоны удельной активности радионуклидов составили для ^{241}Am – 1,3-62 Бк/кг, для ^{137}Cs – 8-230 Бк/кг (за исключением 1 точки, где удельная активность ^{137}Cs – 1800 Бк/кг).

Радиационное обследование показало, что в целом, на поверхности объекта М-3 содержание искусственных радионуклидов незначительно. Это связано, вероятнее всего, с функциональным назначением объекта, т.е. после захоронения радиоактивных материалов, была произведена засыпка объекта привозным «чистым» грунтом. По данным полевой гамма-спектрометрической съемки и результатам лабораторных анализов проб грунта можно отметить, что содержание ОЯД в поверхностном слое грунта - ниже 1 ppm. Однако, найденные металлические фрагменты, а также участок с высоким содержанием ^{137}Cs в образце грунта, позволяют предполагать, что в данном случае радиоактивность была вынесена на дневную поверхность из более глубоких слоев грунта, т.е. из самого могильника. А, следовательно, значительные количества ОЯД могут быть расположены на объекте М-3 в приповерхностном слое в пределах досягаемости без привлечения спецтехники, однако дальнейших исследований не проводилось ввиду вероятной опасности для персонала [5].

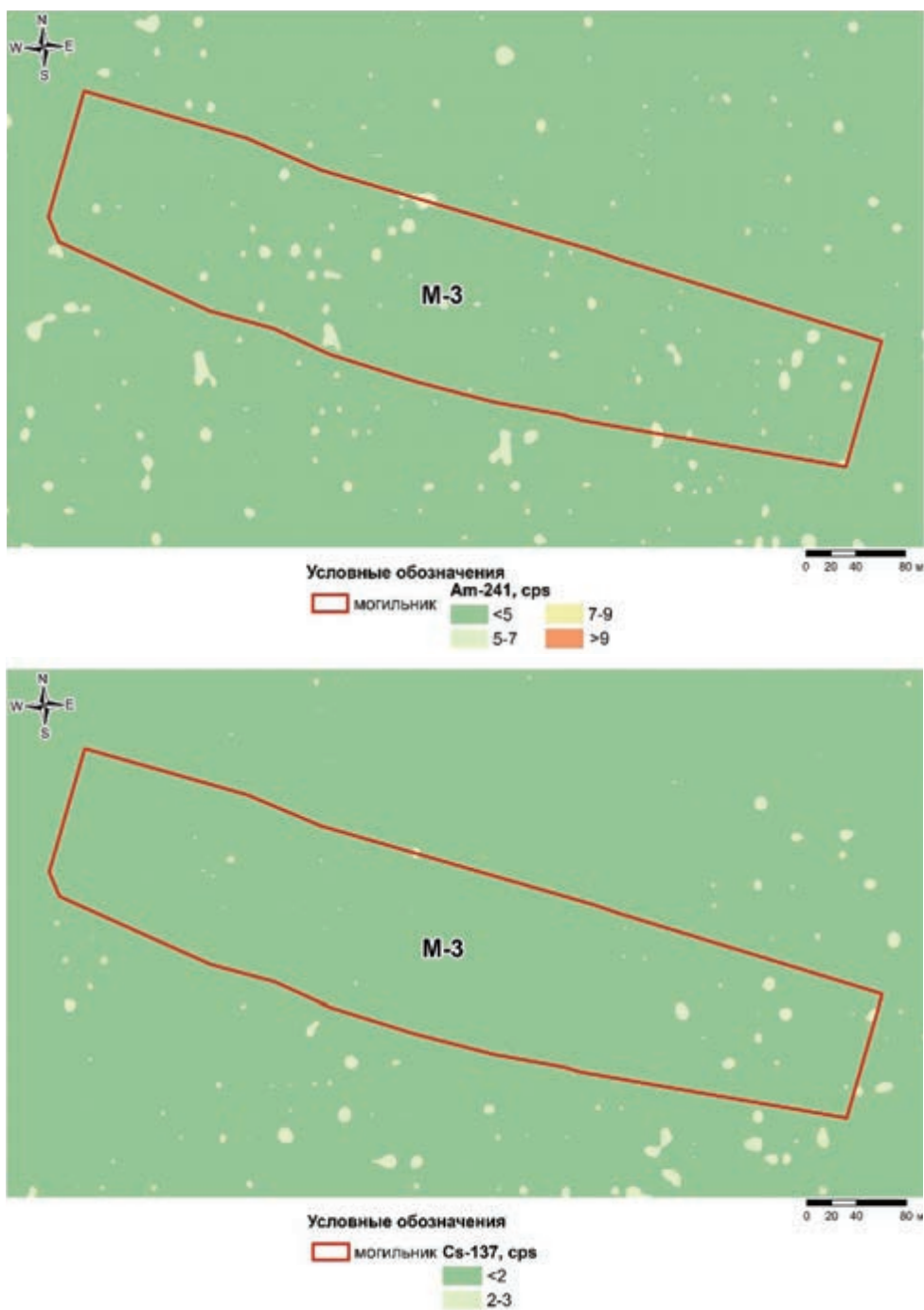


Рисунок 2.118. Результаты проведения пешеходной гамма-спектрометрической съемки объектов М-3

Техногенный объект М-4

Данный объект является котлованом искусственного происхождения, расположенным в северо-восточной части испытательной площадки «Опытное поле» (Рисунок 2.115), в котором были обнаружены отходы лабораторной деятельности. Размеры объекта составили 5х10х2 м (ДхШхГ) (Рисунок 2.119).



Рисунок 2.119. Общий вид объекта М-4 на космоснимке

Первичное обследование параметров радиоактивного загрязнения на М-4 осуществлялось путем проведения ПГСС в 2013 г. В связи с тем, что техногенный объект имеет небольшой размер, в дополнение к ПГСС была проведена ДГСС, а также отбор проб и лабораторных анализов (Рисунок 2.120).

Мощность дозы (МЭД) в точке максимума составляет до 25 мкЗв/ч, плотность потока β -частиц – до 2850 част/мин·см². По результатам исследований выявлено, что содержание ОЯД составляет более 8 ppm [5] (Рисунок 2.121).



Рисунок 2.120. Вид отходов лабораторной деятельности на объекте М-4

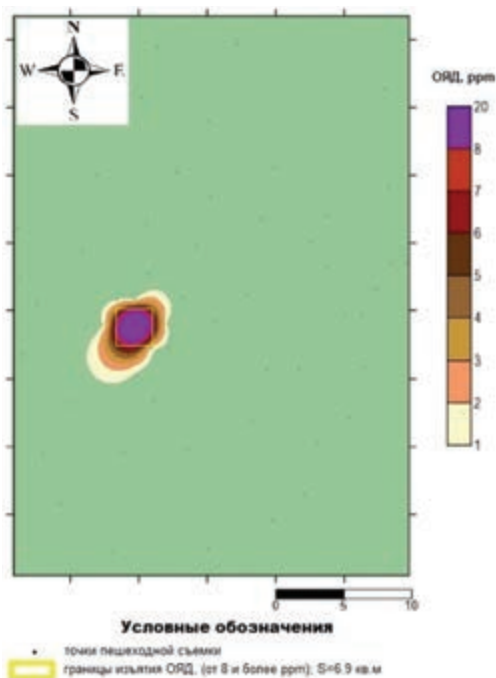


Рисунок 2.121. Детальное обследование объекта М-4 и карта-схема распределения ОЯД

Однако, поскольку данный объект по своему прямому назначению является могиликом, дополнительных его исследований не проводилось с целью исключения появления демаскирующих признаков [5].

Техногенный объект ИК-1

Исследуемый объект расположен в 5-ти км юго-восточнее площадки П-1 (Рисунок 2.115). Данный объект представлен несколькими объектами, где проводились земляные работы (Рисунок 2.122).



а) Карта-схема объекта ИК-1



б) Фотографии техногенных объектов

Рисунок 2.122. Техногенные объекты в пределах участка ИК-1

Исследования на ИК-1 были осуществлены посредством проведения первичного обследования ПГСС и продолжены с последующим проведением ДГСС в местах с повышенными значениями скорости счета по ^{241}Am . Для количественной оценки содержания техногенных радионуклидов на территории участка были отобраны послойные пробы грунта на глубину до 130 см (в зависимости от высоты навала). Анализ лабораторных данных показал, что на объекте ИК-1 не установлена зависимость вертикального распределения ^{241}Am , однако, для навалов характерно повышенное содержание ^{241}Am на глубине свыше 1 м, что указывало на проведение земляных работ, приведших к искусственному перераспределению ^{241}Am . Общий анализ результатов обследования показал, что на ИК-1 не содержатся ОЯД с концентрацией выше 1 ppm [5].

Техногенный объект ИК-2

При проведении ПГСС в северо-восточной части технической площадки П-1, на расстоянии ~ 2 км от ее центра, был выявлен участок радиоактивного загрязнения, получивший название объект ИК-2 (Рису-

нок 2.115). На объекте ИК-2 обнаружена область скопления техногенных сооружений в виде траншей, земляных выемок, укрепленных наземных бункеров регистрации параметров взрывов, подземного бункера управления регистрирующей аппаратурой, и прочих инженерных сооружений.

В результате ПГСС определено, что основным радионуклидом, характеризующим поверхностное загрязнение, является ^{241}Am (Рисунок 2.123).

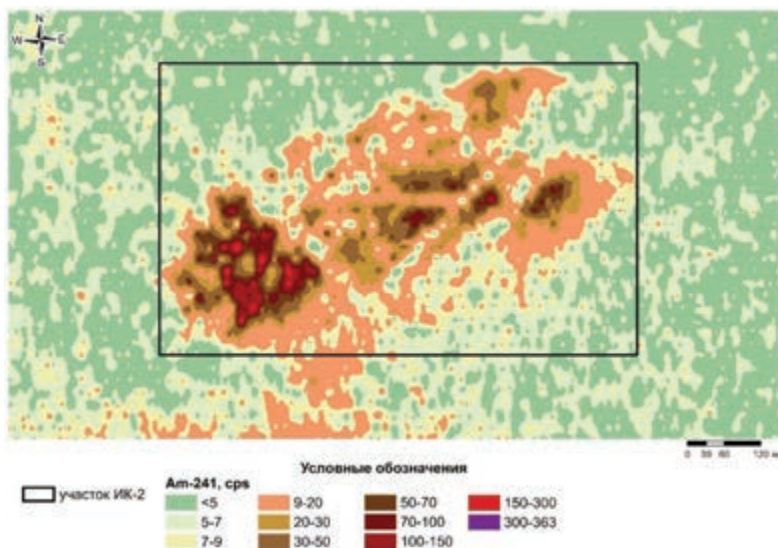


Рисунок 2.123. Карта распределения ^{241}Am на объекте ИК-2

С целью характеристики радиоактивного загрязнения объекта ИК-2 были отобраны послойные пробы грунта на глубину до 5 см с шагом 2,5 см. Анализ вертикального распределения техногенных радионуклидов в 5-сантиметровом слое показал, что в верхнем 0-2,5 см слое содержание ^{241}Am и ^{137}Cs составляет ~ 60% от активности в слое 2,5-5 см. Анализ результатов ПГСС и лабораторных анализов показал, что на ИК-1 отсутствуют ОЯД с концентрацией выше 1 ppm [5].

Техногенный объект К-1

Участок обследования находится на юго-восточной границе технической площадки П-1, в 2-х км от ее эпицентра (Рисунок 2.115).

В пределах К-1 находятся три воронки диаметром 35, 40 и 60 м (по гребню), расположенных вдоль оси с направлением в 317° от наибольшей воронки (Рисунок 2.124). Все три воронки обводнены. Помимо основных воронок можно выделить другие техногенные объекты: воронка диаметром 15 м (расположена на 100 м восточнее от наибольшей

воронки), траншея длиной 15 м (расположена на 140 м восточнее от наибольшей воронки) и область 15x25 м со следами земляных работ (расположена в 140 м от наибольшей воронки, направление 20°).

Обследование К-1 проведено посредством ПГСС, отбора проб почвы и последующих лабораторных анализов.

Анализ полученных данных показал, что К-1 имеет незначительное загрязнение искусственными гамма-излучающими радионуклидами ^{241}Am и ^{137}Cs , предположительно сформированное радиоактивными выпадениями от атмосферных испытаний, проведенных на территории технической площадки П-1. Анализ результатов ПГСС и лабораторных анализов показал, что на К-1 отсутствуют ОЯД с концентрацией выше 1 ppm [5].

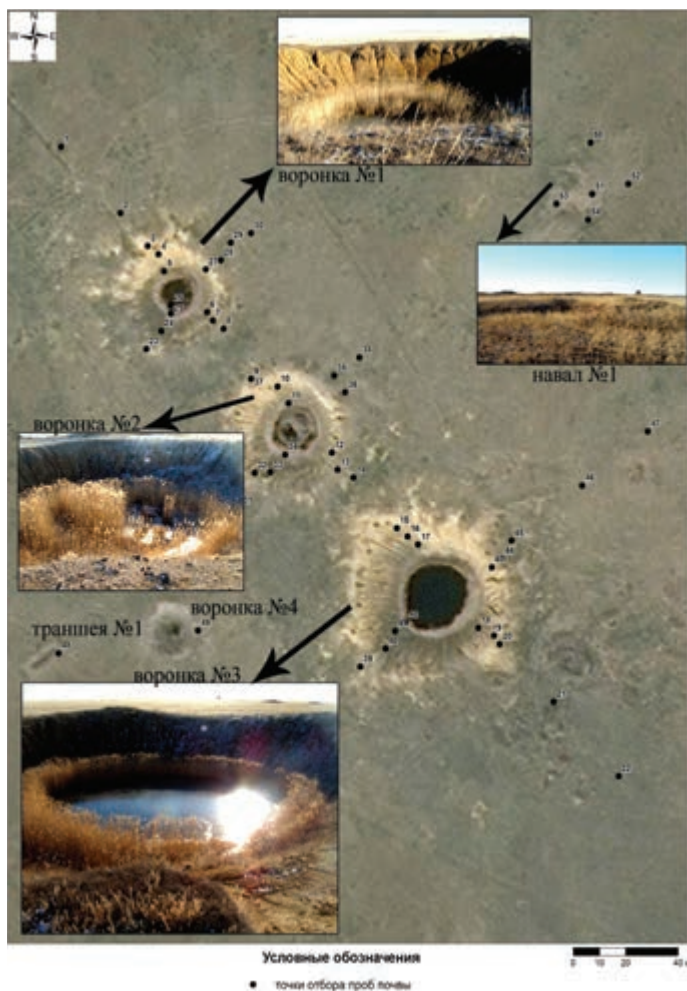


Рисунок 2.124. Техногенные объекты на К-1

Техногенный объект К-2

Рассматриваемый участок расположен юго-восточнее технической площадки П-1, в 5-ти км от ее эпицентра (Рисунок 2.115). К-2 представлен множеством техногенных объектов (Рисунок 2.125), наиболее крупными из которых являются: обводненная воронка диаметром 65 м, 2 воронки диаметром по 35 м. Также на территории площадки расположены 6-7 воронок диаметром 5-15 м, две S-образные траншеи длиной до 40 м, насыпь по форме и размерам напоминающая траншею, земляные насыпи правильной формы, расположенные рядами длиной 30 м и шириной по 1-1,5 м.

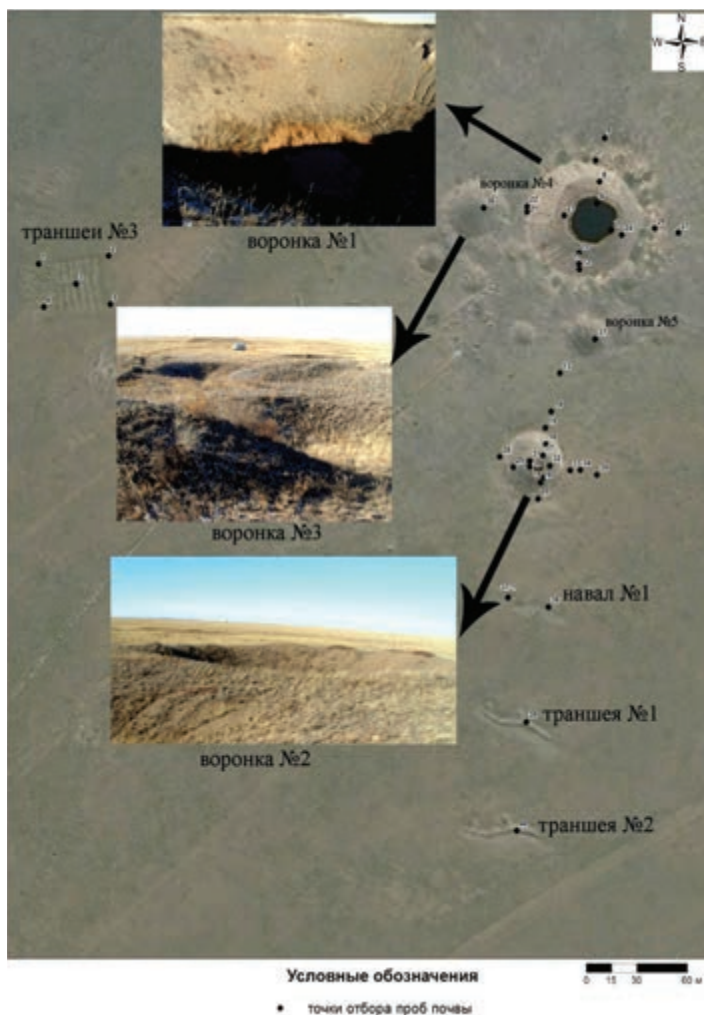


Рисунок 2.125. Техногенные объекты на объекте К-2

При проведении обследования территории К-2 было установлено, что загрязнение радионуклидами ^{241}Am и ^{137}Cs незначительно.

Для оценки содержания техногенных радионуклидов на территории К-2 был произведен послойный отбор проб грунта в слое 0-5 см с шагом 2,5 см.

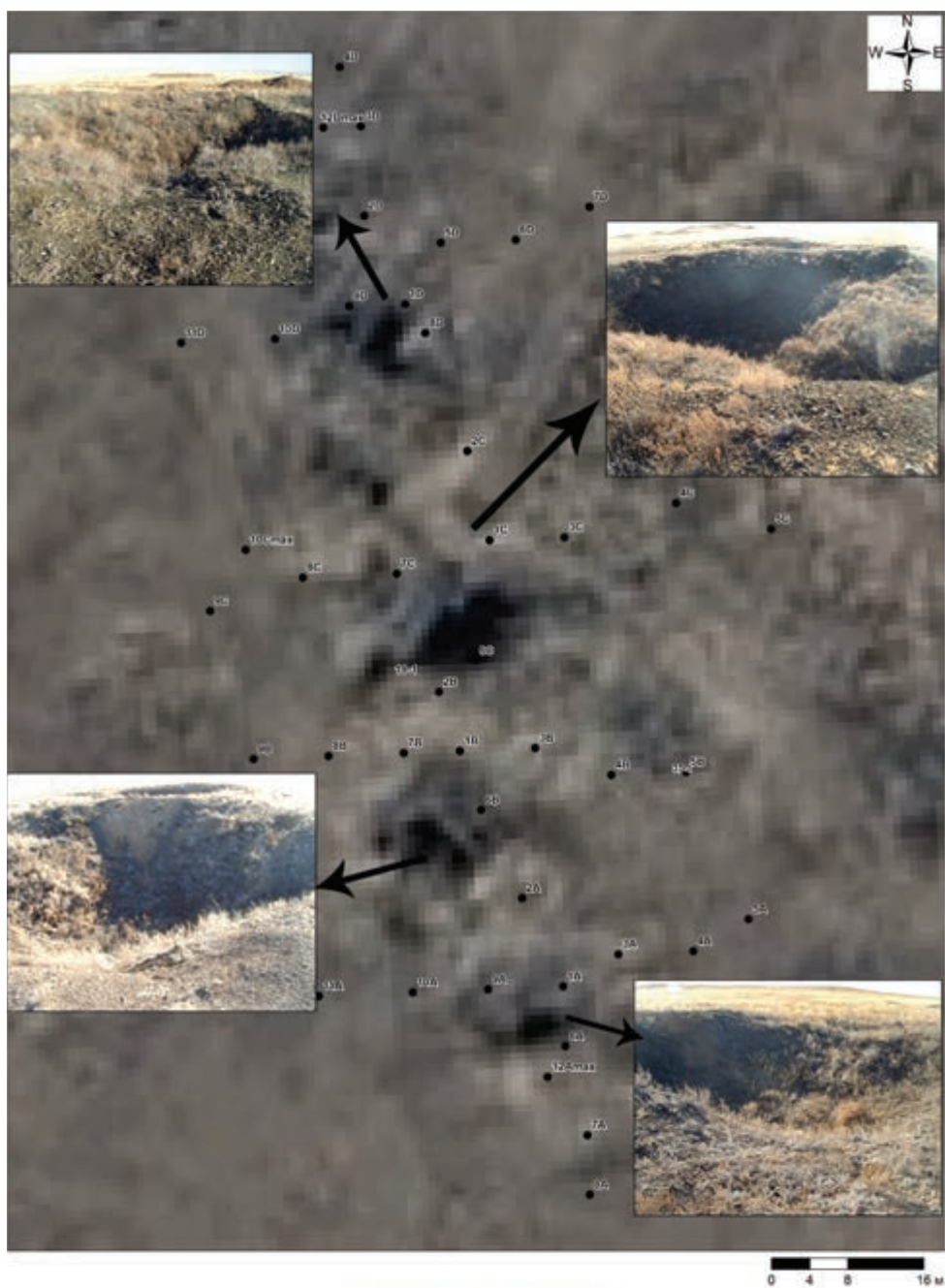
Анализ результатов лабораторных измерений показал, что содержание ^{241}Am и ^{137}Cs в грунте, в пределах исследованной глубины незначительно, так более 35% значений удельной активности ^{241}Am находятся ниже минимальной детектируемой активности используемого оборудования.

Согласно данным полевых и лабораторных измерений определено, что К-2 имел незначительное загрязнение техногенными радионуклидами, предположительно сформированное в результате радиоактивных выпадений от атмосферных испытаний на технической площадке П-1. Анализ результатов ПГСС и лабораторных анализов проб грунта показал, что на К-1 отсутствуют ОЯД с концентрацией выше 1 ppm [5].

Техногенный объект У-1

Обследуемый участок расположен юго-восточнее технической площадки П-1, в 8,7 км от ее эпицентра (Рисунок 2.115). У-1 представлен четырьмя основными объектами – воронками, диаметры которых составляли до 10-12 м и глубиной до 3 м. Севернее воронок находились 2 земляных вала в форме незамкнутого круга с диаметром по гребню около 20 м (Рисунок 2.126).

В результате проведения обследования территории У-1 с помощью метода ПГСС определено, что наличие радионуклидов ^{241}Am и ^{137}Cs в почве довольно незначительно. Однако в процессе проведения ПГСС вблизи воронок были выявлены отдельные точки с повышенными радиационными параметрами, при этом не было зарегистрировано присутствие таких радионуклидов как ^{241}Am или ^{137}Cs . При проведении дополнительного обследования непосредственно в местах с повышенными значениями МЭД на поверхности был найден радиоактивный материал – порошок черного цвета и металлические фрагменты с вкраплениями материала желто-зеленого цвета – предположительно окислов урана (Рисунок 2.127). МЭД на поверхности материала достигала до 6,8 мкЗв/ч, плотность потока β -частиц до 5 100 част/(см²·мин).



Условные обозначения

- точки отбора проб почвы

Рисунок 2.126. Техногенные объекты на У-1

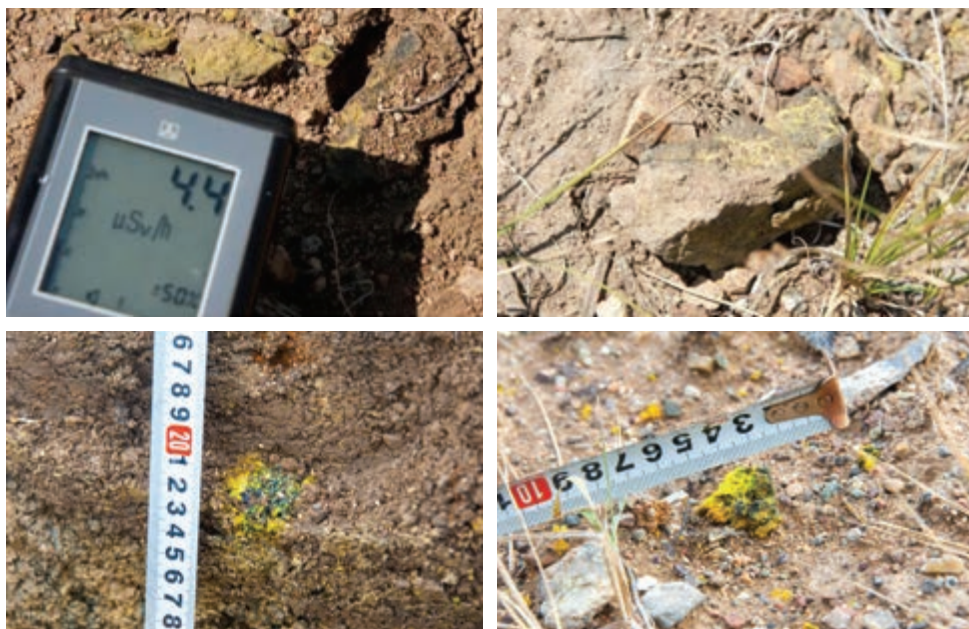


Рисунок 2.127. Металлический фрагмент, выявленный на объекте У-1

Для количественной оценки содержания техногенных радионуклидов на территории У-1 были отобраны послойные пробы грунта на глубину до 5 см с шагом 2,5 см. Анализ лабораторных данных показал повышенное содержание изотопов урана: ^{235}U – достигает десятков единиц ppm, а также ^{238}U – варьирует в широком диапазоне и достигает десятки тысяч единиц (от 2,2 до 32×10^3) ppm. Согласно результату масс-спектрометрического анализа, исследуемые образцы представляли собой уран с различной степенью обогащения (природное соотношение $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ – 0,72%) от 0,17 до 0,81%. Кроме того, в исследуемых пробах наблюдалось снижение относительного содержания ^{235}U при увеличении его концентрации ($r=-0,71$).

Для образцов грунта с содержанием ^{235}U 0,06 ppm и менее характерно отношение $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ в пробе к природному отношению $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ более 0,72%, с увеличением содержания ^{235}U – значение отношения $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ снижалось до 0,17%, что говорит о том, что на данном объекте проводились эксперименты с обедненным ураном.

Согласно полученным данным определено, что для У-1 характерно присутствие повышенных концентраций изотопов урана при незначительном содержании таких искусственных радионуклидов как ^{241}Am и ^{137}Cs , однако ОЯД с концентрацией выше 1 ppm не выявлено [5].

Техногенный объект ВВ4

Данный участок находится юго-восточнее технической площадки П-1, в 5 км от ее эпицентра (Рисунок 2.115).

ВВ4 представлен тремя основными техногенными объектами (Рисунок 2.128), к которым относились прямоугольная выемка 90x30 м и глубиной до 3 м и две конусовидных насыпи ($d_{\text{осн.}}$ – 48 м высотой около 6 м), канавой с железобетонным желобом 80x2,3 м с бетонной площадкой, находящийся между земляных насыпей. Предположительно железобетонный желоб использовался для укрепления железнодорожного полотна (найлены следы шпал и костылей).

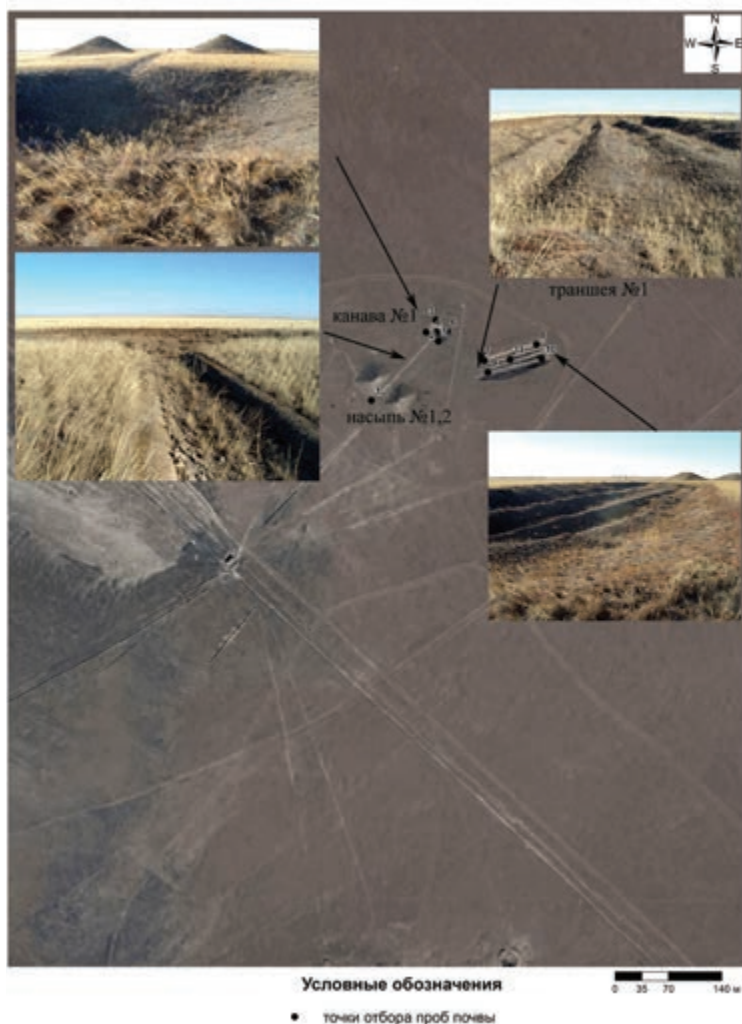


Рисунок 2.128. Техногенные объекты на объекте ВВ4

Согласно результатам ПГСС установлено, что концентрация ^{241}Am и ^{137}Cs в пределах объекта находится на уровне минимальной детектируемой активности используемой аппаратуры. Для оценки содержания техногенных радионуклидов в грунте на территории ВВ4 произведен отбор послойных проб грунта на глубину до 5 см с шагом 2,5 см.

Согласно данным лабораторных анализов, диапазон удельной активности радионуклидов в пробах грунта составил для ^{241}Am – <15-180 Бк/кг, для ^{137}Cs – <2-110 Бк/кг. Содержание ^{235}U в грунте составляет тысячные доли ppm, а ^{238}U – порядка 1 ppm.

Радиационное обследование показало, что незначительное загрязнение в пределах ВВ4 предположительно сформировано радиоактивными выпадениями от испытаний, проведенных на технической площадке П-1. Анализ результатов ПГСС и лабораторных анализов показал, что на ВВ4 отсутствуют ОЯД с концентрацией выше 1 ppm [5].

Техногенный объект В-1

В результате проведения обследования юго-западной части испытательной площадки «Опытное поле» методом ПГСС и дешифрированием космических снимков южнее площадки П-3 был выявлен объект – воронка с повышенным уровнем радиоактивности (Рисунок 2.129). Объект, получивший название В-1, сформирован вследствие проведения наземного ядерного взрыва малой мощности.



Рисунок 2.129. Панорама объекта В-1

Анализ карт распределения техногенных радионуклидов, полученных при проведении ПГСС показал, что радиоактивное загрязнение характеризуется наличием как ^{241}Am , так и ^{137}Cs (Рисунок 2.130).

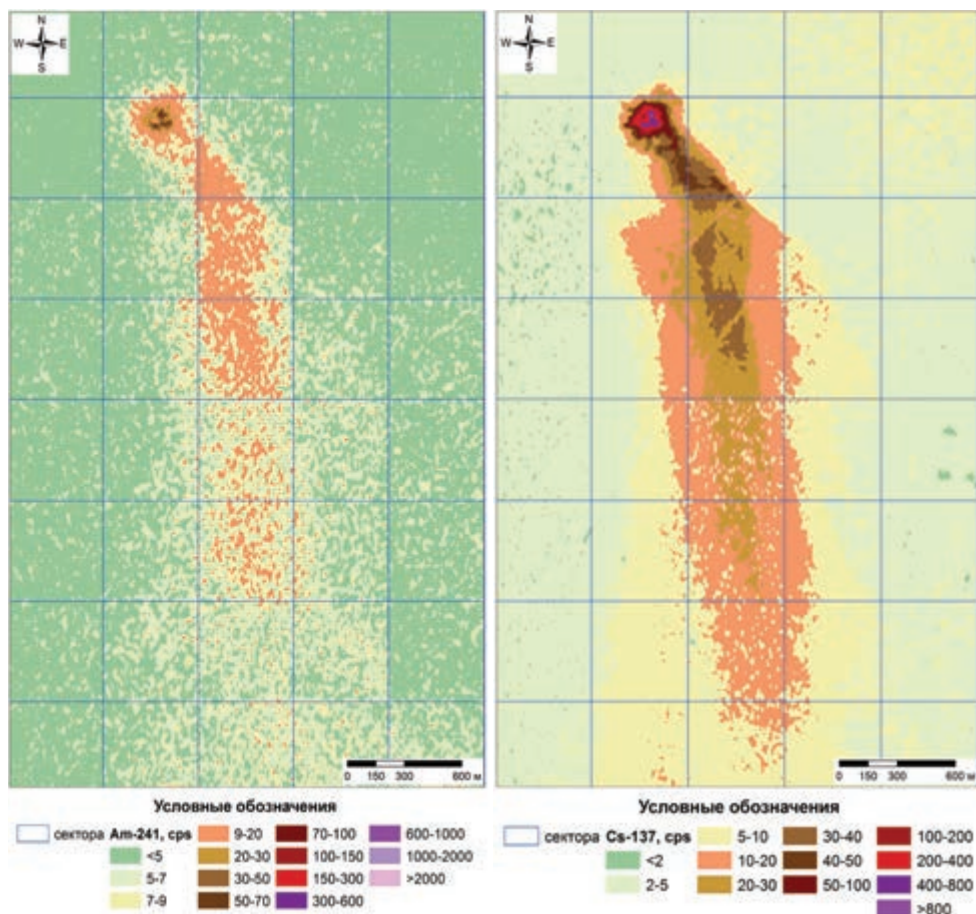


Рисунок 2.130. Распределение радионуклидов ^{241}Am и ^{137}Cs на объекте В-1

След радиоактивных выпадений сформирован в юго-восточном направлении, его длина составляет около 3 км.

С целью характеристики объекта В-1 был произведен отбор послойных проб грунта на глубину до 85 см с шагом 2,5 и 5 см и проведены лабораторные анализы. Результаты лабораторных исследований показали, что ^{137}Cs является доминирующим радионуклидом с концентрацией до $n \times 10^5$ Бк/кг, а максимальное значение ^{241}Am составило $n \times 10^4$ Бк/кг. Основное количество радионуклидов находится в верхнем 20-ти сантиметровом слое.

На основании лабораторных данных определено среднее соотношение $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$, равное 22. Максимальная расчетная концентрация $^{239+240}\text{Pu}$ на объекте значительно ниже уровня в 1 ppm [3].

2.2.6. Объекты, содержащие ОЯД

В результате исследований, проведенных в период 2012-2017 г. на территории площадки «Опытное поле», были выявлены 19 радиоактивно загрязненных объектов на площадках П-2, П-7, из них 4 объекта с концентрацией ОЯД в поверхностном слое почвы выше 1 ppm, 8 объектов на площадках П-3 и П-5, из них 2 объекта с концентрацией ОЯД выше 1 ppm, 47 объектов на площадке П-2М, из них 28 объектов с концентрацией ОЯД выше 1 ppm, на объекте М-4 установлено наличие ОЯД с концентрацией делящегося вещества свыше 1 ppm. На технической площадке П-1, на техногенных объектах ИК-1, ИК-2, К-1, К-2, У-1, ВВ-4, В-1, не выявлено наличие ОЯД с концентрацией выше 1 ppm.

2.3. Классификация ядерно- и радиационно-опасных объектов

Основными критериями для выбора метода физической защиты ОЯД, присутствующих на территории испытательной площадки «Опытное поле», являлась концентрация ОЯД.

С учетом площади распределения ОЯД на объекте, толщины слоя почвы и удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$, удельная активность $^{239+240}\text{Pu}$ определялась через корреляционную зависимость по удельной активности ^{241}Am через соотношение $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$. По результатам ПГСС и лабораторных данных проводился контур области распространения ОЯД и определялась ее площадь.

Была введена следующая классификация радиационно-опасных объектов, расположенных на территории испытательной площадки «Опытное поле»:

1. ОЯД с концентрацией выше 8 ppm подлежат изъятию с территории площадки «Опытное поле» с последующими кондиционированием и размещением в контролируемых условиях с соответствующей физической защитой.

2. На объектах с наличием ОЯД с концентрацией выше 8 ppm, изъятие которых с территории площадки «Опытное поле» осуществить невозможно, создать защитные сооружения с соответствующей физической защитой.

3. На объектах с наличием ОЯД с концентрацией от 1 до 8 ррм, провести ремедиационные мероприятия по снижению концентрации и заглублению делящихся материалов методом глубокой (до 30-40 см) вспашки (дискования).

Согласно предложенной классификации, количество объектов, подлежащих изъятию ОЯД с содержанием делящихся материалов выше 8 ррм, составило 5 (1 – П-5, 1 – М-4, 3 – П-2, П-7), количество объектов с невозможностью изъятия ОЯД с содержанием делящихся материалов выше 8 ррм – 29 (П-2М и П-5), количество объектов, на которых проведены ремедиационные мероприятия – 5 (3 – П-2, П-7, 1 – П-3).

Несмотря на то, что по результатам исследований на объекте М-3 не обнаружено ОЯД с концентрацией выше 1 ррм, было предположено что значительные количества ОЯД расположены на объекте М-3 под слоем грунта в пределах досягаемости и могут быть извлечены без привлечения спецтехники. На основе данного предположения объект М-3 по введенной классификации был отнесен к радиационно-опасным объектам, изъятие которых с территории площадки «Опытное поле» осуществить невозможно и необходимо создать защитное сооружение с соответствующей физической защитой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 2

1. Логачев В.А. и др. Ядерные испытания СССР: современное радиоэкологическое состояние полигонов. Под рук. В.А. Логачева – Москва: ИзДАТ, 2002 г.
2. Бакланова Ю.В., Кривицкий П.Е. и др. «Пешеходная гамма-спектрометрическая съемка как инструмент оценки радиоактивного загрязнения территорий» Вестник НЯЦ РК, периодический научно-технический журнал национального ядерного центра Республики Казахстан. Выпуск 2 (82), июнь 2020.
3. Итоговый отчет о результатах обследования «Опытного поля» в 2014 году (договор HDTRA1-08-G-0001-0004 от 02.05.2012 года)
4. Итоговый отчет по результатам обследования площадок П-2, П-3, П-5 и П-7 (этап 0006 договора HDTRA1-08-G-0001-0004/1 от 02.05.2012 года)
5. Итоговый отчет о результатах обследования «Опытного поля» в 2013 году (договор HDTRA1-08-G-0001-0004 от 02.05.2012 года)
6. Заключительный отчет о результатах приповерхностного исследования площадки П-2М, 2017 г. (договор HDTRA1-08-G-0001-0005 от 19 апреля 2016 года).
7. Андрюшин И.А., Илькаев Р.И., Чернышев А.К. Общие характеристики и некоторые вопросы экологических последствий ядерных испытаний СССР. Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ. Том 1, Научно-исследовательское издание, Саров, 2001-637 с.

ГЛАВА 3. УСИЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»

Работы по усилению безопасности объектов были выполнены в рамках Программы предотвращения распространения оружия массового поражения АПУУ.

3.1. Усиление безопасности на технической площадке П-2, П-7

На площадках П-2 и П-7 было обнаружено 3 объекта, представляющих участки с грунтом, где концентрация ОЯД в поверхностном слое почвенного покрова превышает 8 ррт, еще на одном участке концентрация ОЯД находилась на уровне 1-8 ррт (пункт главы 2.2.2 Техническая площадка П-2, П-7).

3.1.1. Технические решения и методика проведения работ

В рамках выполнения работ на территории площадок П-2, П-7, НЯЦ РК провел мероприятия по изъятию ОЯД и вспашке верхнего слоя почвы на нескольких объектах площадок П-2, П-7 (Рисунок 3.1) [1].

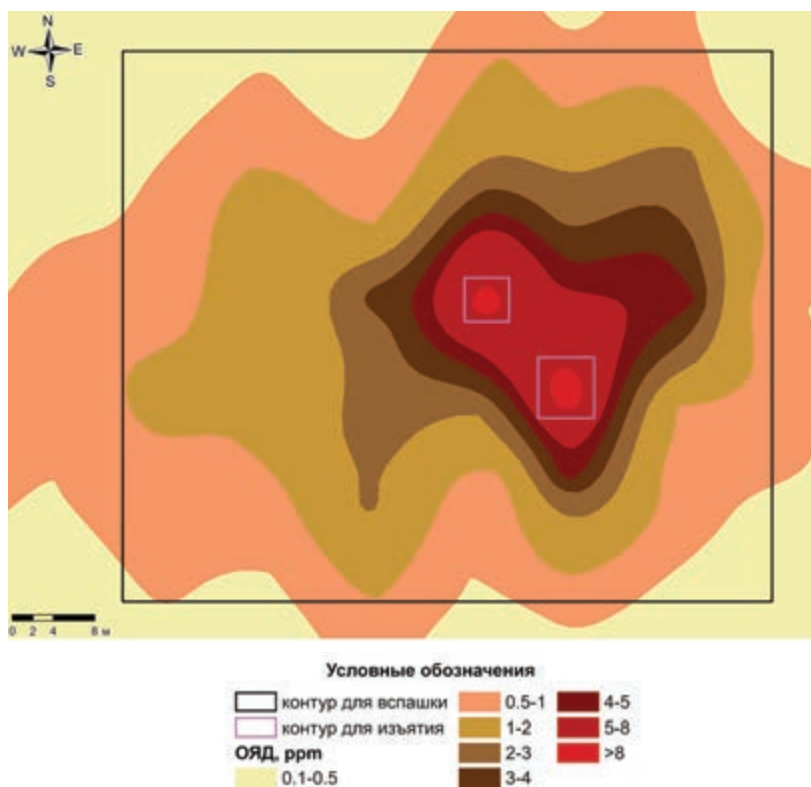


Рисунок 3.1. Пример проведения комплекса работ по рекультивации на участке 2

Изъятие грунта

Изъятие ОЯД проводилось ручным способом на участках 2, 12 и 13. (Рисунок 3.2).



Рисунок 3.2. Изъятие ОЯД

Использование ручного способа позволило уменьшить глубину изъятия грунта, что, в свою очередь, привело к снижению объемов, изымаемых ОЯД. Кроме того, была проведена коррекция по размеру участков, что позволило гарантированно изъять ОЯД со значениями выше 8 ppm.

При этом, оставшаяся после снятия верхнего слоя, активность грунта контролировалась спектрометристом, находившемся на участке ведения работ. В случае превышения определенных значений суммарной активности (в пересчете показаний спектрометра (сps) к ppm) изъятие грунта проводилось на большую глубину (Рисунок 3.3) и в некоторых случаях – за пределы изначально определенных контуров участка (в пределах границ размеров сетки обследования), до значений содержания ОЯД менее 8 ppm.



Рисунок 3.3. Корректирование глубины изъятия по результатам оперативного контроля

Так как весь технологический процесс от изъятия грунта до формирования ТУКов связан с пылением, в течение всей рабочей смены проводилось увлажнение дорог, участков изъятия и рабочей площадки. Также перед проведением работ по вспашке участки обильно поливались водой. Данное орошение позволило практически полностью предотвратить пыление (Рисунок 3.4).



Рисунок 3.4. Орошение участка под вспашку и рабочей площадки

Переработка грунта

Для предотвращения возможности дальнейшего изъятия ОЯД из грунта на участке переработки извлеченного грунта, он был смешан с бетонным раствором, утяжеленным магнетитом (Рисунок 3.5).



Рисунок 3.5. Бетонирование ОЯД и размещение в ТУКи

Изъятый с участков 2, 12, 13 грунт после переработки был размещен в транспортные упаковочные контейнеры (ТУК) для дальнейшей транспортировки к месту хранения:

- Участок 2. Всего было подготовлено 78 ТУК общим объемом 19,5 м³.
 - Участок 12. Всего было подготовлено 206 ТУК общим объемом 51,5 м³.
 - Участок 13. Всего было подготовлено 62 ТУК общим объемом 15,5 м³.
- Всего было подготовлено 346 ТУК общим объемом 86,5 м³.

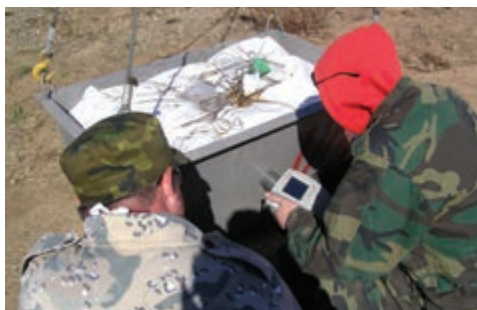
Транспортирование грунтобетона

Складирование ТУКов происходило на площадке участка переработки извлеченного грунта, где происходило затвердевание бетонного раствора.

Перед транспортировкой ТУКи взвешивались, маркировались. Для определения активности содержащихся ОЯД на каждом ТУКе проводились измерения с использованием спектрометра (Рисунок 3.6). Определялась общая активность ОЯД. Эти данные заносились в паспорт ТУКа.



а) Площадка складирования ТУК



б) Измерение активности ТУК

Рисунок 3.6. Прием контейнеров на площадке

Специальными автомобилями все контейнеры с радиоактивным грунтобетоном были перевезены с площадки «Опытное поле» и приняты на КИР «Байкал-1» НЯЦ РК для долговременного хранения (Рисунок 3.7). Всего было выполнено 10 рейсов.



Рисунок 3.7. Погрузка контейнеров на площадке

Размещение на долговременное хранение контейнеров с ОЯД

После разгрузки специальных автомобилей контейнеры с грунто-бетоном были размещены на КИР «Байкал-1» для маркировки и дальнейшего перемещения их на место хранения, которое имеет специализированное хранилище твердых радиоактивных отходов с соответствующей инфраструктурой для долговременного безопасного хранения (Рисунок 3.8).



Рисунок 3.8. Размещение контейнеров на перекрытии и их маркировка

ТУКи были размещены в два яруса по всей площади помещения (Рисунок 3.9).



Рисунок 3.9. Размещение контейнеров в хранилище

Размещение на долговременное хранение контейнеров с радиоактивным грунтобетоном с площадки «Опытное поле» на КИР «Байкал-1» выполнено в полном объеме.

После завершения работ все ОЯД задекларированы и поставлены под гарантии МАГАТЭ.

Вспашка

После проведения работ по изъятию ОЯД была выполнена вспашка 4 участков: 2, 12 и 13 на которых проводилось изъятие и участка 3,

где концентрации ОЯД не превысили критериев для их изъятия. Перед началом работ границы участков были вынесены на местность в соответствии с результатами ПГСС.

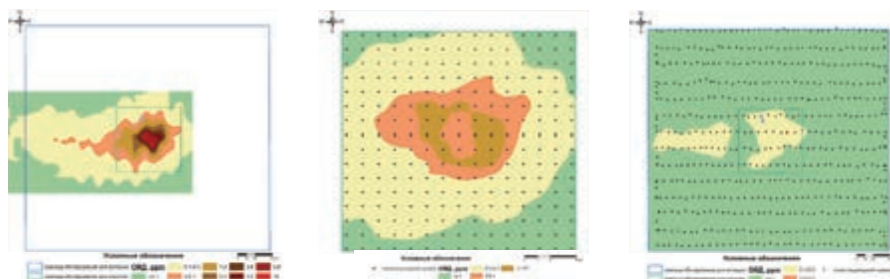
Вспашка проведена на глубину 40-50 см (Рисунок 3.10).



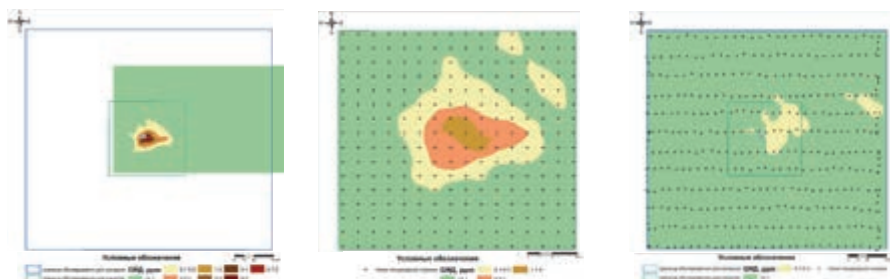
Рисунок 3.10. Вспашка участков

3.1.2. Результат проведения работ

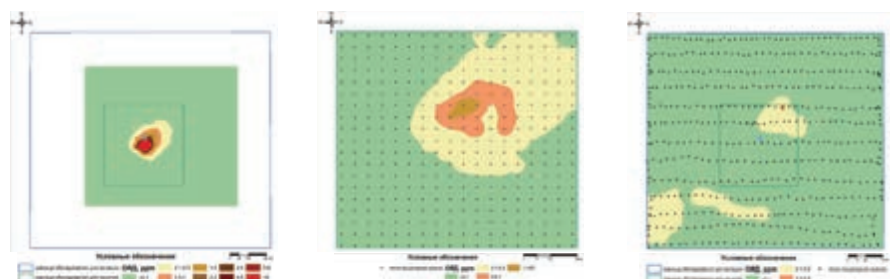
После проведения работ по изъятию ОЯД и вспашке была выполнена дополнительная ПГСС на каждом участке. Результаты гамма-съемки подтвердили, что грунт с содержанием ОЯД более 8 ppm полностью изъят, после вспашки содержание ОЯД в поверхностном слое почвы не превысило 1 ppm (Рисунок 3.11).



Участок 2



Участок 12



Участок 13



Участок 3

а)

б)

в)

Рисунок 3.11. Результаты пешеходной гамма-спектрометрической съемки участков рекультивации, а) до начала рекультивации; б) после изъятия ОЯД (для участка 3 изъятие не проводилось); в) после проведения вспашки

Таким образом, на технических площадках П-2, П-7 испытательной площадки «Опытное поле» впервые были выполнены работы по изъятию ОЯД, приведению их в безопасное состояние и размещению на хранение в контролируемые условия (под гарантии МАГАТЭ). Этим достигнута основная цель проекта – приведение в безопасное состояние территории 4-х участков испытательной площадки «Опытное поле».

Выполненные мероприятия по предотвращению несанкционированного доступа к ОЯД способствуют общему улучшению экологической обстановки на территории «Опытного поля».

В процессе выполнения работ представители и эксперты АПУУ неоднократно посещали объекты и контролировали ход работ: Гибсон Марк Давид, д-р Риствет Байрон Лео, Турин Ховард Джей, Руслан Хошеназаров и другие сотрудники агентства АПУУ и посольства США (Рисунок 3.12).



Рисунок 3.12. Специалисты АПУУ и НЯЦ РК на рабочей площадке

3.2. Усиление безопасности на технической площадке П-3

3.2.1. Технические решения и методика проведения работ

В результате исследований площадки П-3 (пункт главы 2.2.3 Техническая площадка П-3, П-5) был выявлен участок (условно названный участок 1) с уровнями ОЯД превышающими 1 ppm.

Согласно выбранным критериям проведения рекультивационных работ на данном участке, на территории с содержанием ОЯД свыше 1 ppm ооконтурена для проведения вспашки [2].

Вынос границ проведения работ был выполнен с использованием высокоточной системы GPS по результатам анализа карты содержания ОЯД (Рисунок 3.13).

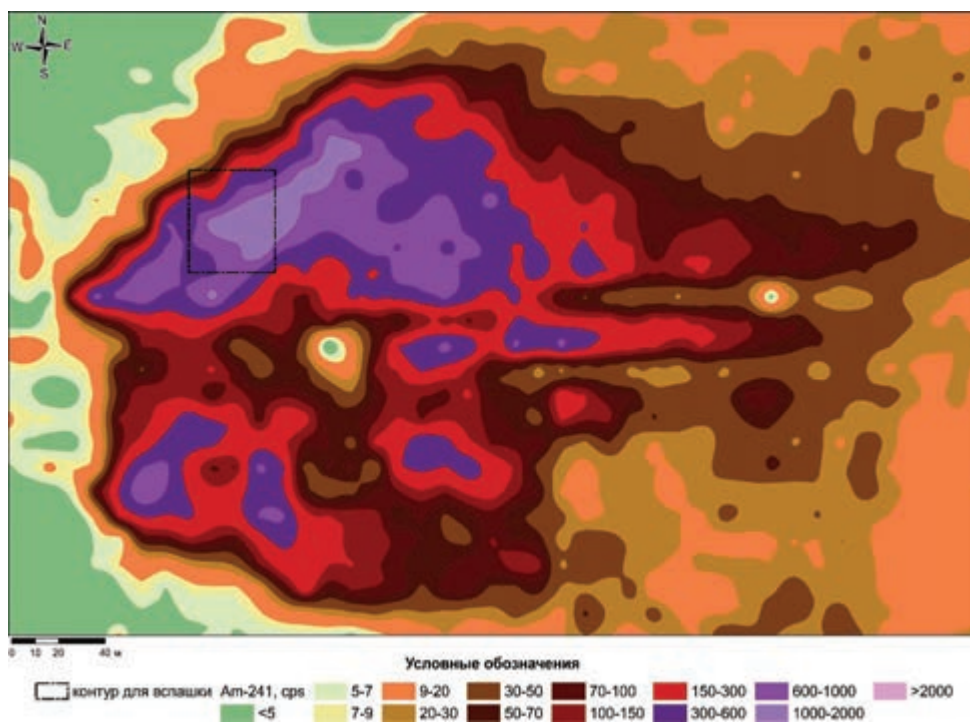


Рисунок 3.13. Граница проведения работ по вспашке почвы на участке 1, площадка П-3

Площадь участка составила $\sim 1400 \text{ м}^2$; глубина вспашки – 40-50 см (Рисунок 3.14).

Во время проведения работ по вспашке почвы ОЯД на участке находился спектрометрист, который осуществлял оперативный контроль эффективности вспашки (Рисунок 3.15).



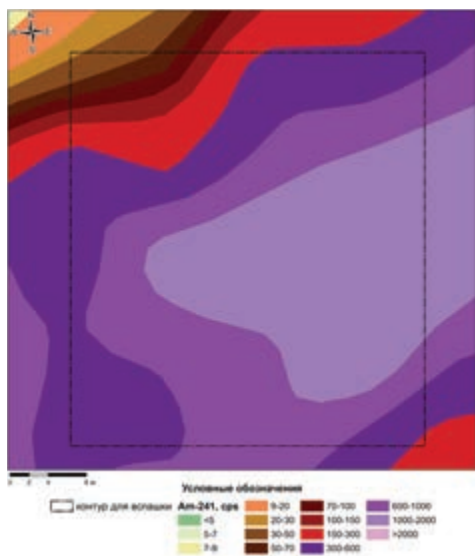
Рисунок 3.14. Вспашка участка



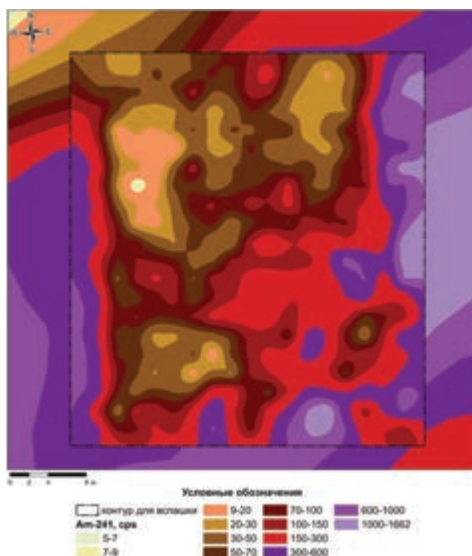
Рисунок 3.15. Измерение радиационных параметров во время вспашки на площадке П-3

3.2.2. Результат проведения работ

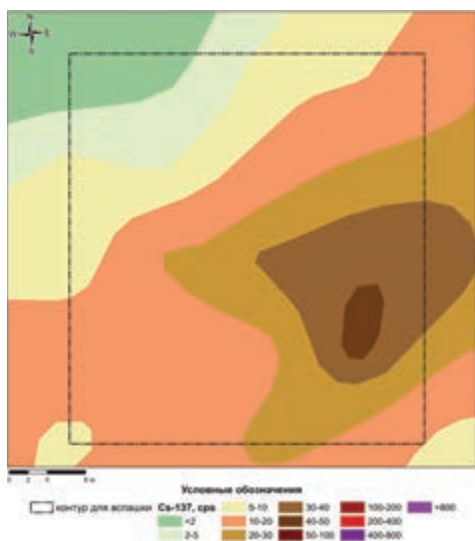
После проведения работ по вспашке проведена контрольная ПГСС. Результаты гамма-спектрометрической съемки показали, что после вспашки содержание ОЯД в поверхностном слое почвы не превысило 1 ppm (Рисунок 3.16).



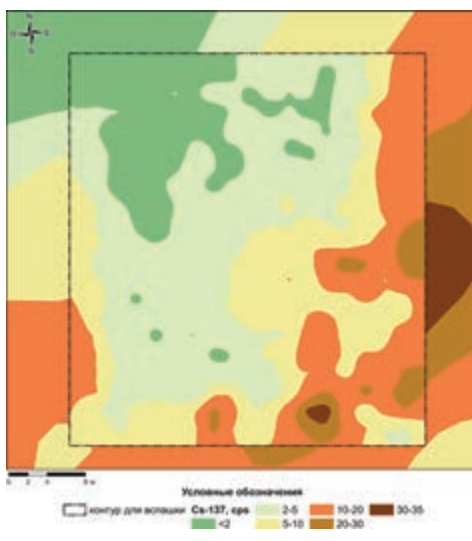
^{241}Am до вспашки



^{241}Am после вспашки



^{137}Cs до вспашки



^{137}Cs после вспашки

Рисунок 3.16. Результаты пешеходной гамма-спектрометрической съемки до и после вспашки

3.3. Усиление безопасности на технической площадке П-5

По результатам исследований площадки П-5 выявлен участок 6 (получивший условное наименование «Пандора»), содержащий ОЯД (пункт главы 2.2.3. Техническая площадка П-3, П-5).

Объект «Пандора» расположен в 460 м севернее центра технической площадки П-5 (Рисунок 3.17).

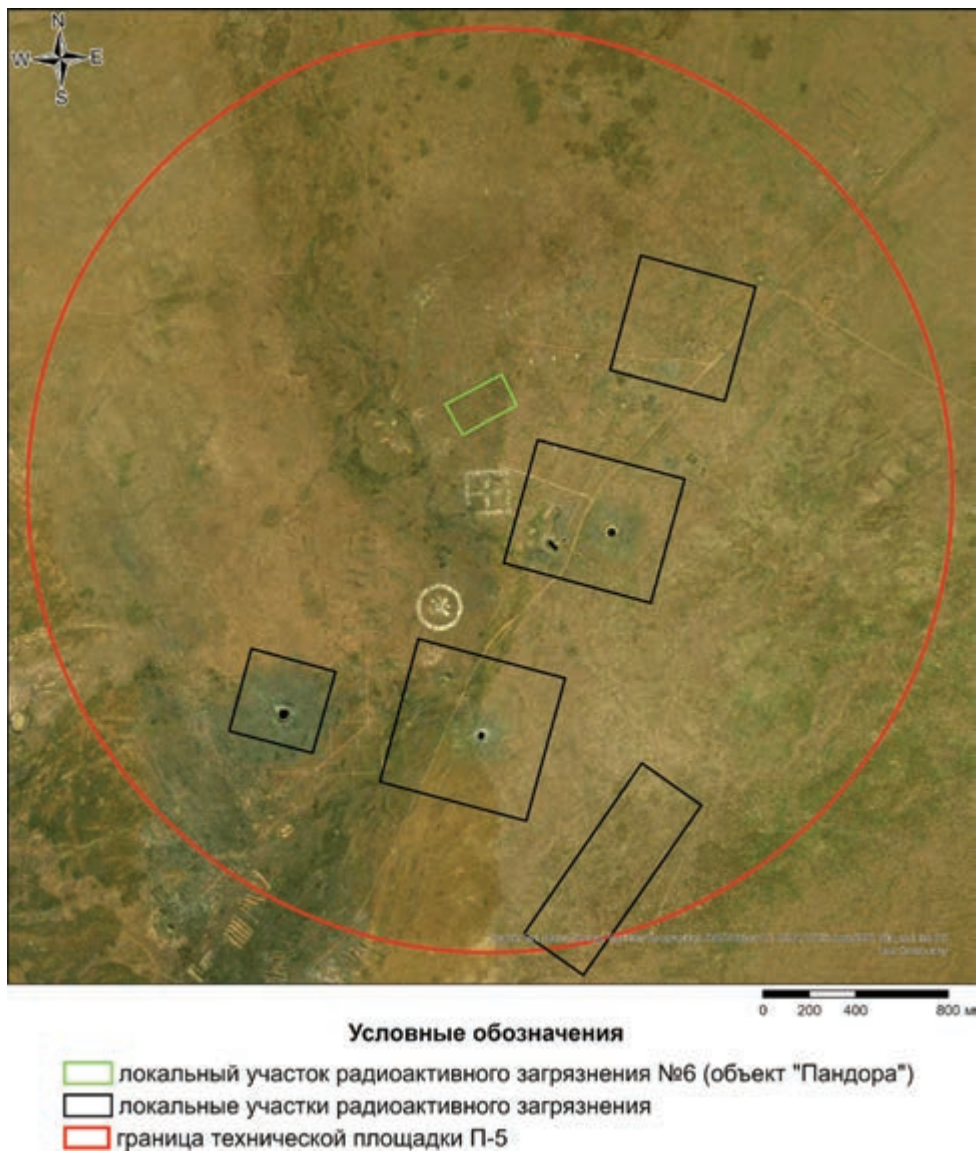


Рисунок 3.17. Расположение объекта «Пандора»

3.3.1. Технические решения и методика проведения работ

Ввиду сложности объекта, приведение его в безопасное состояние, по мере изучения и появления новой информации об особенностях и уровнях ОЯД, было проведено в несколько этапов:

1 этап – детальное поверхностное гамма-спектрометрическое исследование с отбором послойных проб.

2 этап – изъятие части ОЯД с поверхности, выявление приповерхностного загрязнения [3].

3 этап – приповерхностные исследования и оценка объемов ОЯД на глубине.

4 этап – возведение защитного сооружения [4].

Изъятие ОЯД

Располагая данными об уровнях содержания и пространственном распределении ОЯД (пункт главы 2.2.3. Техническая площадка П-3, П-5), было принято решение об их изъятии и размещении их в пункте долговременного хранения на КИР «Байкал-1».

Кроме этого, по результатам полевой заверки на территории объекта «Пандора» не выявлено какой-либо инфраструктуры в радиусе около 100 метров за исключением траншеи, а территория объекта представляла собой равнинный участок степи с типичной растительностью (Рисунок 3.18).



Рисунок 3.18. Панорама в 50 м от «эпицентра» «Пандоры» до начала работ

Площадь изъятия ОЯД на двух основных пятнах, по предварительной оценке, составила 450 м². Изъятие планировалось и на 80 пятнах, сформированных точечным загрязнением площадью 0,25 – 1,25 м². Оценочная глубина изъятия – до 20 см.

Суммарный объем ОЯД, включая фрагменты загрязненного грунта, оценивался в 10-15 м³.

Границы изъятия определялись путем выноса поворотных точек на местность с использованием высокоточного GPS-приемника с точностью определения положения в плане до нескольких сантиметров (Рисунок 3.19).

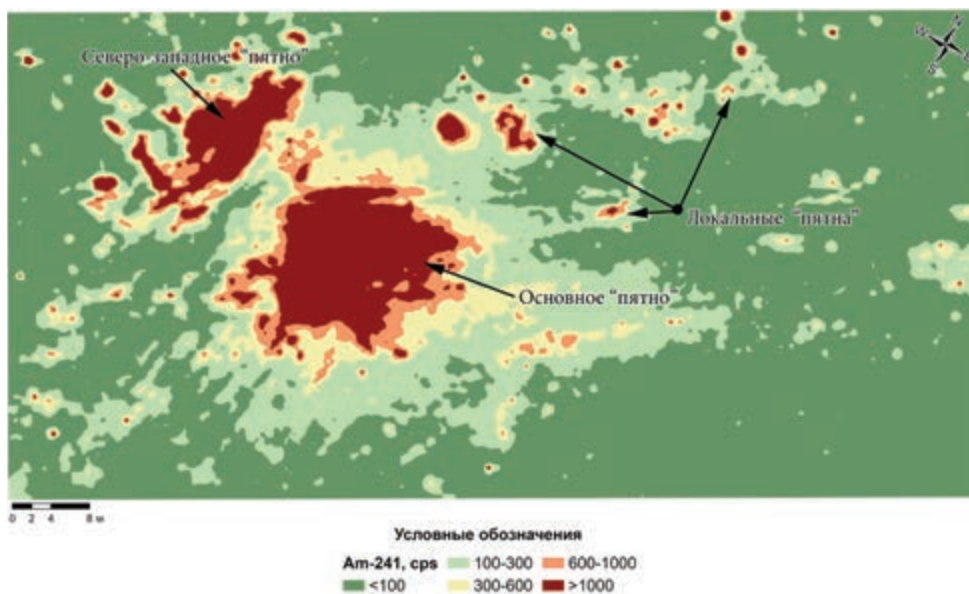


Рисунок 3.19. Карта-схема распределения поверхностной активности границы изъятия по результатам ДГСС по сети 0,5 м

Изъятие ОЯД проводилось ручным способом для минимизации объемов образования отходов [1].

На рисунке представлен вид участка работ по изъятию ОЯД (Рисунок 3.20).

После снятия верхнего слоя в пределах оконтуренного участка активность грунта контролировалась спектрометром, находившемся на участке ведения работ. Контроль осуществлялся с использованием полевого гамма-спектрометра в режиме «поиск» – для этой цели проведена калибровка прибора для оперативной оценки уровня содержания ОЯД. В случае превышения значения установленного критерия суммарного содержания ОЯД более 8 ppm, изъятие грунта проводилось и на большую глубину, а в некоторых случаях и за пределы изначально определенных контуров участка – поскольку загрязненные ОЯД фрагменты были заглублены и экранировались грунтом.



а) изъятие грунта на участке



**б) контроль активности грунта на участке изъятия
и изъятый грунт в первичной таре**



в) взвешивание первичной тары и ее складирование перед транспортировкой

Рисунок 3.20. Работы по изъятию ОЯД

Изъятие грунта проводилось в первичную упаковочную тару – полиэтиленовые мешки, далее в полипропиленовый мешок после чего они размещались в транспортные упаковочные контейнеры (ТУК) для дальнейшей транспортировки к месту переработки грунта.

Изъятие на участках точечного загрязнения – как правило небольших фрагментов происходило по схеме: специалист выходил в точку с использованием высокоточного GPS-приемника по данным ДГСС и в режиме «поиск» гамма-детектором с коллиматором осуществлял поиск фрагментов в радиусе 0,5 м, т.е. в границах сети обследования (Рисунок 3.21). Часто обнаруживалось более 1 фрагмента. Фрагменты хорошо обнаруживались, т.к. их активность была в десятки-сотни раз выше даже на уровне общего загрязнения территории.

Глубина выявленных фрагментов достигала до 15 см (чаще до 5 см).



Рисунок 3.21. Найденные фрагменты и подпись соответствуют ближайшей точке сети обследования

Однако, во время изъятия ОЯД, по мере увеличения глубины изъятия южнее основного участка загрязнения было отмечено и повышение активности грунта на глубине до 1,2 м (Рисунок 3.22, Рисунок 3.23). Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения выросла с 0,15 мкЗв/ч на поверхности до 100 мкЗв/ч на глубине котлована.

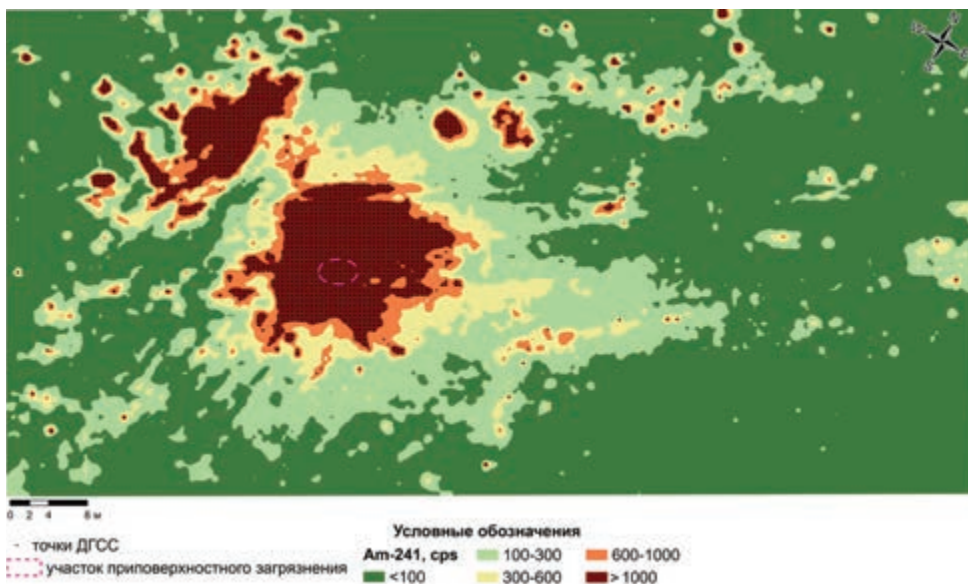


Рисунок 3.22. Границы участка с максимальным поверхностным и приповерхностным загрязнением



Рисунок 3.23. Участок приповерхностного загрязнения

Максимальные значения активности, выявленные в месте работ, были сосредоточены в слое 80-100 см от дневной поверхности. Содержание ОЯД по данным исследований в мобильной лаборатории достигала десятков ppm (более подробно в пункте главы 2.2.3. Техническая площадка П-3, П-5).

Поскольку радиационная обстановка представляла опасность для персонала, работы по изъятию ОЯД были остановлены.

На момент остановки работ общий вес изъятых грунта с ОЯД составил ~ 15 т.

После изъятия ТУКи с ОЯД были перемещены на участок переработки извлеченного грунта, где проводилась переработка извлеченного грунта (бетонирование с включением магнетита). Процесс работ представлен на рисунке (Рисунок 3.24).



а) Подготовка сухой
грунто-бетонной смеси



б) Извлечение грунта с ОЯД
из контейнера (ТУК)



в) Раствор смеситель в работе



г) Прием готового грунтобетона в ТУКи

Рисунок 3.24. Работы по бетонированию ОЯД

После того как ТУК был подготовлен, спектрометром определена активность каждого ТУКа. Далее ТУКи пронумерованы, взвешены и подписаны (Рисунок 3.25).

Перед транспортировкой ТУКи взвешивались, маркировались. Для определения активности содержащихся ОЯД на каждом ТУКе проводились измерения с использованием спектрометра. Определялась общая активность ОЯД. Эти данные заносились в паспорт ТУКа.



Рисунок 3.25. Определение активности, нумерация ТУКов

Специальными автомобилями все контейнеры с радиоактивным грунтобетоном были перевезены с площадки «Опытное поле» и приняты на КИР «Байкал-1» НЯЦ РК. После разгрузки специальных автомобилей контейнеры с грунтобетоном были промаркированы и далее перемещены на место долговременного хранения, которое имеет соответствующую инфраструктуру для долговременного хранения (Рисунок 3.26).



Рисунок 3.26. Размещение ТУКов в хранилище

По размещению на долговременное хранение ТУКов с ОЯД был оформлен паспорт на партию радиоактивных отходов, сдаваемых на долговременное хранение.

Количество размещенных в пункте долговременного хранения составило 113 ТУК.

Размещение на долговременное хранение контейнеров с радиоактивным грунтобетонном с площадки «Опытное поле» на КИР «Байкал-1» выполнено в полном объеме.

После завершения работ все ОЯД задекларированы и поставлены под гарантии МАГАТЭ.

Поскольку работы по дальнейшему изъятию ОЯД были приостановлены, на участке оставалось значительное количество загрязненного грунта с содержанием ОЯД более 8 ppm.

Поэтому для предотвращения несанкционированной деятельности были проведены работы по временному усилению физической защиты на время до возобновления работ:

- произведена укладка бетонных плит непосредственно на место проведения работ (Рисунок 3.27);
- участок работ по периметру огорожен колючей проволокой (Рисунок 3.27);
- на территории рабочей площадки размещены сейсмические детекторы и датчики движения с функцией передачи сигнала срабатывания на пост охраны НЯЦ (Рисунок 3.28).



Рисунок 3.27. Фотографии элементов физической защиты объекта «Пандора» после работ по изъятию ОЯД

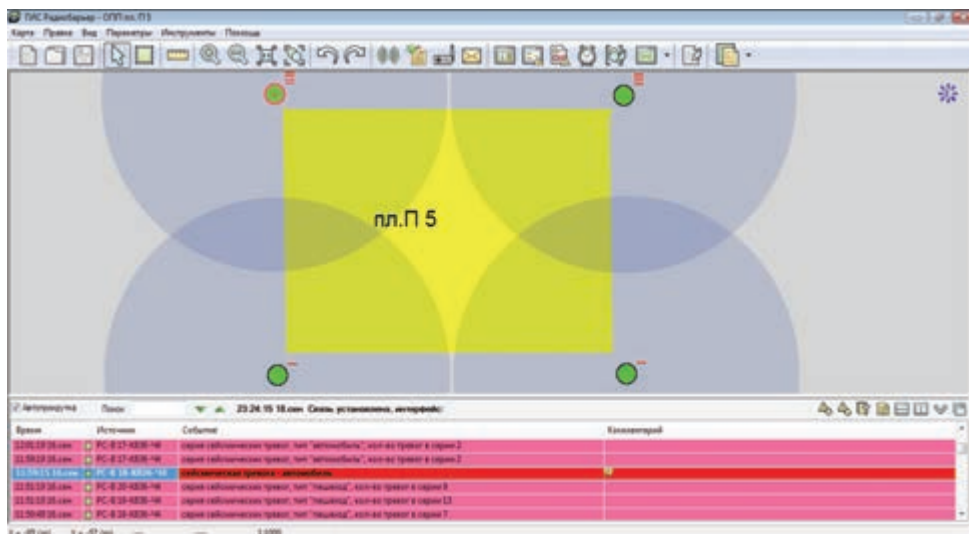


Рисунок 3.28. Тестирования срабатывания детекторов

По результатам мониторинга объекта «Пандора» за период остановки работ попытки проникновения на объект не зарегистрированы.

Возведение защитного сооружения

По результатам дополнительных исследований (подробнее результаты исследований представлены в пункте главы 2.2.3. Техническая площадка П-3, П-5) был разработан план по дальнейшему приведению в безопасность объекта «Пандора».

Оценивая уровни содержания, общий запас, опасность для персонала при дальнейших работах, а также условия размещения ОЯД было принято решение не изымать ОЯД, а создать защитное сооружение на объекте «Пандора».

Для обеспечения безопасности ОЯД, находящихся на объекте «Пандора», был создан проект многоуровневой системы защиты [4], включающий:

- проведение топогеодезических работ по сопровождению всех строительных и сопутствующих работ;
- планировку территории работ;
- проведение буровых работ и обсадка скважин полиэтиленовыми трубами;
- изготовление и установку арматурных каркасов в скважины;
- бетонирование скважин;

- устройство подушки из щебня и песка;
- укладку гидроизоляции из геомембраны со сваркой швов;
- изготовление и установку арматурного каркаса, и установка металлической опалубки;
- укладку бетонной смеси;
- устройство гидроизоляции из геомембраны с торцов и сверху конструкции со сваркой швов;
- обваловку грунтом железобетонного колпака;
- установку системы безопасности 2 и 3 уровня (Глава 4. Создание систем многоуровневой безопасности).

Согласно проекту, над участком, содержащим ОЯД предусматривалось создание железобетонного защитного сооружения мощностью 1,5 м железобетона и диаметром 14 м, двух рядов железобетонных свай, заглубленных на 6 м (всего 106 шт.). Дополнительно предусматривалось создание грунтовой насыпи высотой более 1 м для всего защитного сооружения.

Процесс бурения и бетонирования скважин представлен на рисунке (Рисунок 3.29). Основную сложность при буровых работах представлял высокий уровень грунтовых вод, достигавший отметки -2 м от поверхности. Глубина бурения до 6 м и близкое расположение скважин представляли дополнительную сложность при проведении работ.



а) общий вид объекта «Пандора» на этапе бурения



б) Отработка методики бурения полым снарядом



в) Буровые работы с применением стандартных шнеков



г) Процесс бурения и обсадки скважин



д) Чистка скважин компрессором



е) Скважины, подготовленные к заливке бетоном



ж) Бетонирование скважин

Рисунок 3.29. Буровые работы на объекте «Пандора»

Далее в соответствии с проектом было подготовлено основание из щебня и песка для возведения железобетонного колпака. Естественный рельеф был выровнен внутри контура скважин. Затем было выполнено устройство оснований из щебня и песка толщиной 200 мм и 100 мм соответственно. Далее на подготовленные основания был уложен гидроизоляционный слой из геомембраны толщиной 2 мм для гидроизоляции нижнего слоя защитного колпака (Рисунок 3.30).



а) Планировка щебня и укладка геомембраны



б) Снимок с наложением установленных железобетонных колонн и границами защитного сооружения

Рисунок 3.30. Планировка щебня и уложенный нижний слой геомембраны

После устройства оснований и гидроизоляции произведены работы по устройству пространственного арматурного каркаса для бетонного защитного колпака (Рисунок 3.31) и устройству опалубки (Рисунок 3.32) в форме десятиугольника, описанного вокруг окружности диаметром 14 м.



Рисунок 3.31. Этапы армирования защитного колпака



Рисунок 3.32. Монтаж арматурного каркаса

После выставления опалубки проводились работы по бетонированию защитного сооружения бетонным раствором марки В20 (Рисунок 3.33).



Рисунок 3.33. Этапы заливки бетоном

После отверждения набора проектной прочности бетонного раствора была произведена гидроизоляция внешнего слоя (Рисунок 3.34).



Рисунок 3.34. Гидроизоляция железобетонного колпака

На последнем этапе защитное сооружение обваловывалась чистым грунтом слоем 1 м (Рисунок 3.35).



Рисунок 3.35. Обваловка защитного сооружения

3.3.1. Результат проведения работ

В результате работ по 2 этапу, изъятый грунт, содержащий ОЯД, в количестве 113 ТУКов размещен на долговременное хранение на КИР «Байкал-1». Все ОЯД задекларированы и поставлены под гарантии МАГАТЭ.

В результате работ по 4 этапу было создано защитное сооружение, соответствующее всем проектным нормам и требованиям, что позволило обеспечить безопасность объекта «Пандора». Параллельно описанным работам были проведены работы по созданию 2 и 3 уровня систем безопасности (подробнее в главе 4. Создание систем многоуровневой безопасности).

Окончательный вид объекта на момент окончания работ по строительству многоуровневой системы физической защиты представлен на рисунке (Рисунок 3.36).



Рисунок 3.36. Окончательный вид объекта «Пандора» после завершения работ

В процессе выполнения всех работ на всех стадиях его выполнения проводился контроль со стороны АПУУ, а после выполнения работ все инженерные сооружения были приняты комиссией экспертов и представителями АПУУ.

В процессе выполнения работ представители и эксперты АПУУ неоднократно посещали объекты и контролировали ход работ: Гибсон

Марк Давид, д-р Риствет Байрон Лео, Турин Ховард Джей, Александр Дубров, Сергей Колмыков и другие сотрудники агентства АПУУ и посольства США (Рисунок 3.37).



Рисунок 3.37. Специалисты США и НЯЦ на рабочих площадках

3.4. Усиление безопасности на технической площадке П-2М

По результатам многолетних детальных поверхностных и приповерхностных исследований содержания ОЯД (пункт главы 2.2.4 Техническая площадка П-2М) для площадки П-2М (получивший условное наименование «Олимп») составлен проект по приведению ее в безопасное состояние [5].

Приведение объекта «Олимп» в безопасное состояние включало в себя создание комплекса инженерных сооружений – железобетон-

ных колпаков над объектами и железобетонными колоннами по периметру объекта, а также отсыпку грунтом участков поверхностного загрязнения.

Проектом предусматривалось строительство 12 железобетонных колпаков мощностью 1 м над участками с содержанием ОЯД в приповерхностном слое грунта выше 8 ppm. Дополнительно, для защиты участков по периметру колпаков, устроены железобетонные колонны на глубину 4 метра. В проекте предусматривалось создание системы 2- и 3-уровня систем безопасности (Глава 4. Создание систем многоуровневой безопасности).

Площадь и геометрия защитных сооружений определялась размерами участков с ОЯД. Схема расположения защитных сооружений, название которых соответствует 12 верховным богам древнегреческой мифологии, представлена на рисунке (Рисунок 3.38).



Рисунок 3.38. Схема расположения защитных сооружений на объекте «Олимп»

В качестве оснований защитных сооружений обустроены слои из гравия и песка. Железобетонные колпаки со всех сторон гидроизолированы с применением геомембраны. Дополнительным защитным элементом служит насыпной слой грунта мощностью более 1 м.

Дополнительно, для снижения вероятности смыва и ветрового сноса радиоактивно-загрязненного грунта, участки с наибольшим поверхностным загрязнением было решено отсыпать чистым грунтом.

Вид на площадку П-2М в начале работ по усилению безопасности представлен на рисунке (Рисунок 3.39).



Рисунок 3.39. Вид на площадку П-2М в начале работ по усилению безопасности

3.4.1. Технические решения и методика проведения работ

Работы по созданию защитных инженерных сооружений на объекте «Олимп» состояли из нескольких этапов и видов работ для всех 12 площадок:

- проведение топогеодезических работ по сопровождению всех строительных и сопутствующих работ;
- планировка территории работ;
- проведение буровых работ и обсадка скважин полиэтиленовыми трубами;
- изготовление и установка арматурных каркасов в скважины;
- бетонирование скважин;
- устройство подушки из щебня и песка;
- укладка гидроизоляции из геомембраны со сваркой швов;
- изготовление и установка арматурного каркаса, и установка металлической опалубки;
- укладка бетонной смеси;
- устройство гидроизоляции из геомембраны с торцов и сверху конструкции со сваркой швов;

- обваловка грунтом железобетонного массива;
- отсыпка грунтом наиболее загрязненной территории;
- установка системы безопасности 2- и 3-уровня (Глава 4. Создание систем многоуровневой безопасности).

Топогеодезические работы

Для проведения геодезических работ применялось различное оборудование, включая геодезические БПЛА, тахеометры, система высокоточного позиционирования GPS со стационарной базовой станцией.

Оборудование GPS использовалось во всех работах, где требовалось высокоточное определение координат на местности: определение поворотных точек строительства защитных колпаков, определение высотных отметок, определение точек под бурение скважин, топографическая съемка. Съемка и вынос точек на местность выполнялись в режиме RTK (режим передачи кинематических поправок в реальном времени для обеспечения высокой точности). Точность определения координат и высот в работах на объекте «Олимп» составила 1-2 см.

В жилом лагере установлен пункт, условно взятый за точку отсчета при всех исследовательских, геодезических и строительных работах. Все геодезические работы проводились в единой геодезической сети (Рисунок 3.41).

Спутниковые геодезические измерения объектов территории выполнялись в масштабе 1:500 с высотой сечения рельефа 0,5 метра (Рисунок 3.40).

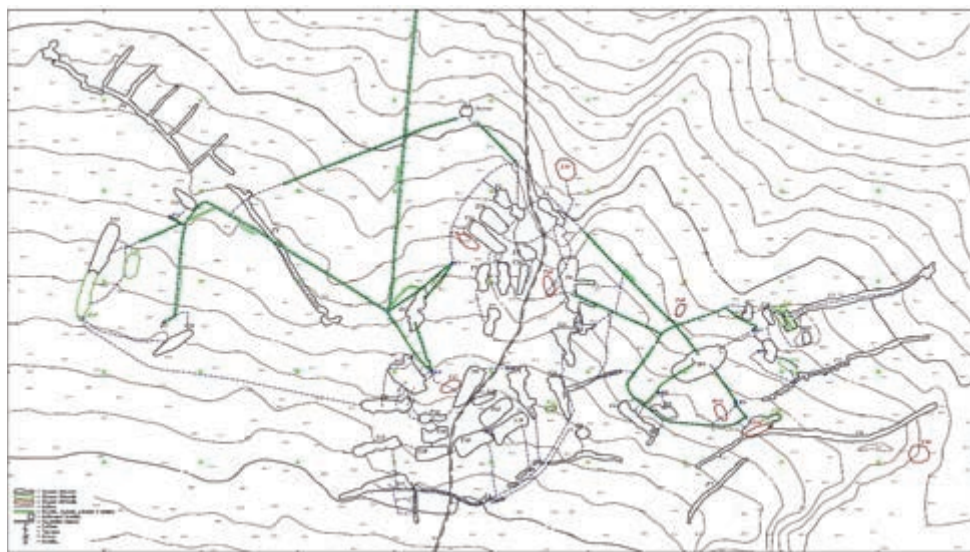


Рисунок 3.40. Топографический план площадки П-2М

Во время проведения работ на объекте «Олимп» проводились следующие топогеодезические работы (Рисунок 3.41):

1. Топографическая съемка всей площадки, вынос в натуру точек проекта под бурение скважин на площадках, вынос в натуру поворотных точек под отсыпку площадок и границ защитных сооружений.
2. Исполнительная съемка всех площадок.
3. Проверка высот установленных обсадных труб на всех площадках.
4. Контрольные измерения совместно проводимых работ филиалами НЯЦ РК на всех объектах.
5. Аэрофотосъемочные работы.



а) вынос точек для бурения скважин с использованием высокоточного GPS



б) точки для бурения скважин



в) нивелирование площадки



г) базовая станция EPOCH-50 в полевом лагере

Рисунок 3.41. Геодезические работы

Планировка территории работ

В связи с наличием неровностей рельефа и высоких значений поверхностного загрязнения для производства работ по бурению скважин было необходимо подготовить площадки для строительства железобетонных колпаков.

Планировка территории проводилась путем отсыпки территории участка чистым грунтом, выравниванием грунта с использованием

грейдера и укаткой вибрационным катком. Подобное было необходимо для обеспечения работы буровых установок – поскольку территория площадки представляла собой техногенно-измененный рельеф высокой пересеченности. Отсыпка грунтом обеспечила и минимизацию облучения персонала и загрязнения техники от загрязненного грунта (Рисунок 3.42).



**Рисунок 3.42. Планировка территории:
отсыпка, грейдирование и уплотнение грунта**

Дополнительно были оборудованы дороги для подъезда к участкам для снижения образования радиоактивной пыли при проезде техники.

Бурение и обсадка скважин

Буровые работы на объекте «Олимп» проводились при помощи крано-манипуляторной установки и буровой установки.

Бурение скважин проводилось в точках, вынесенными на местность согласно проекту. Проектная глубина скважин составила 4 м. Расстояние между центрами скважин составляет 0,3 м при собственном диаметре 0,35 м.

Для вскрытия горных пород использовался механический вращательный метод бурения. В качестве основного бурового инструмента использовались шнеки и долото диаметром 350/360 мм. Принцип бурения заключался в разрушении горных пород долотом, закрепленным на конце ведущего шнека во время вращения и давления, создаваемого буровой установкой.

При бурении каждой скважины шнек и изъятый грунт подвергались гамма-спектрометрическому измерению полевым спектрометром.

После окончания бурения каждой скважины до проектной глубины проводился монтаж обсадной трубы. В соответствии с проектом, каждая пробуренная скважина была обсажена пластиковой трубой с наружным диаметром 315 мм (внутренний диаметр 294,4 мм).

Всего на площадке было пробурено 2796 скважин.

Процесс бурения скважин на объекте «Олимп» представлен на рисунке (Рисунок 3.43).



а) Бурение скважин буровой установкой



б) Бурение крано-манипуляторной установкой



в) Буровые работы на площадке



г) Установка обсадной трубы в скважину



д) Вид на площадку «Деметра»



е) Вид на частично обуренную площадку «Деметра»



ж) Схема бурения скважин

Рисунок 3.43. Буровые работы на объекте «Олимп»

Изъятый из каждой скважины грунт контролировался спектрометром (Рисунок 3.44).



Рисунок 3.44. Контроль изъятго грунта

Изготовление железных каркасов для свай и защитных сооружений

В течение всего периода работ проводились мероприятия по изготовлению четырехметровых каркасов с ячейками размером 20x20 см, расстояние между ячейками 50 см из стали армированной АIII Ø14 мм (Рисунок 3.45) для установки их в скважины (Рисунок 3.46) и комплектующих пространственных каркасов для бетонных защитных колпаков.

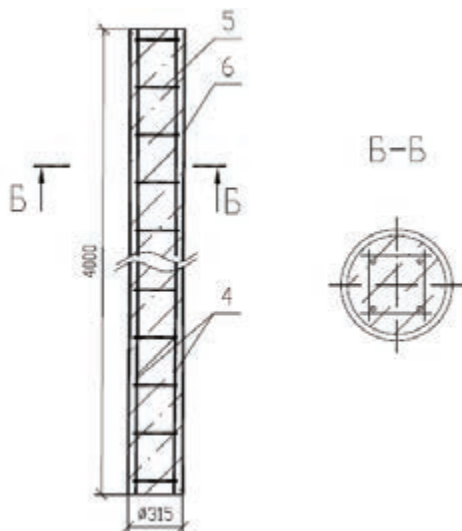


Рисунок 3.45. Схема каркаса свай



а) Заготовка комплектующих



б) Изготовление каркасов



б) Изготовление каркасов



г) Склад готовых каркасов для скважин

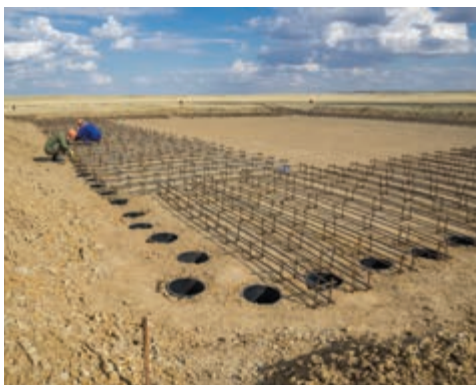
Рисунок 3.46. Этапы изготовления каркасов

Бетонирование скважин

После бурения и обсадки скважин проводилось армирование скважин подготовленными металлическими каркасами и бетонирование раствором марки В20 с последующим уплотнением глубинными электромеханическими вибраторами (Рисунок 3.47).



а) Подготовленные каркасы



б) Подготовленные каркасы



в) Бетонирование скважин



г) Бетонирование скважин



д) Бетонирование скважин



е) Уплотнение залитого бетона вибратором



ж) Вид на частично забетонированные скважины на площадке «Деметра»

Рисунок 3.47. Этапы армирования и бетонирования скважин

Устройство подушки из щебня и песка.

После бетонирования скважин проводились работы по устройству оснований из щебня и песка толщиной 200 мм и 100 мм соответственно (Рисунок 3.48).



а) Завоз щебня на площадку



б) Разравнивание щебня



**в) Разравнивание
песчаного основания**



**г) Уплотнение песчаного основания
вibroкаткомоснования**

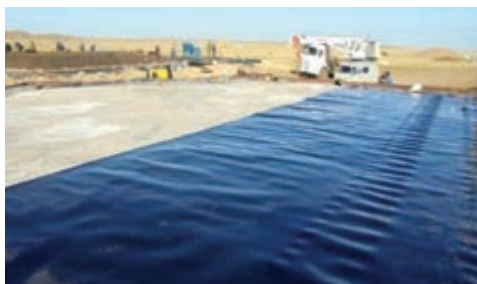
Рисунок 3.48. Устройство оснований из щебня и песка

Укладка гидроизоляции из геомембраны

Далее на подготовленные основания был уложен гидроизоляционный слой из геомембраны толщиной 2 мм для гидроизоляции нижнего слоя защитного колпака (Рисунок 3.49).



а) Укладка гидроизоляционного слоя



б) Укладка гидроизоляционного слоя



в) Сварка геомембраны



г) Шов геомембраны



д) Сваренные листы геомембраны



е) Геомембрана основания на участке Гестия

Рисунок 3.49. Укладка и пайка геомембраны

Установка арматурного каркаса

После устройства основания и гидроизоляции произведены работы по устройству пространственного арматурного каркаса для железобетонного колпака и устройству опалубок (Рисунок 3.50). Далее проводилась установка опалубки для заливки бетоном защитного колпака.



а) Изготовление сеток из арматуры



б) Складирование сеток на рабочей площадке



в) Монтаж нижнего ряда арматурного каркаса защитного колпака



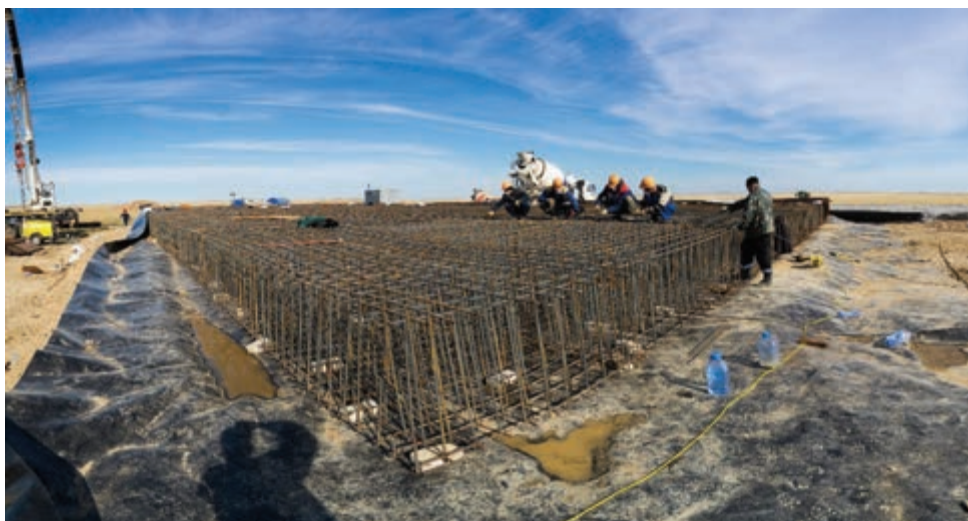
г) Монтаж вертикальных стоек



д) Монтаж вертикальных стоек и верхнего ряда



е) Монтаж верхнего ряда



ж) Геомембрана с установленным каркасом



з) Укладка геомембраны и установки каркаса на площадке с секционной заливкой



и) Монтаж опалубки



к) Площадка «Гестия» перед бетонированием

Рисунок 3.50. Армирование защитного колпака и монтаж опалубки

Укладка бетонной смеси

После выставления опалубки проводились работы по бетонированию площадок. Применялся бетонный раствор марки В20, который изготавливался на установке по производству бетона Elkon Mobile Master-30.

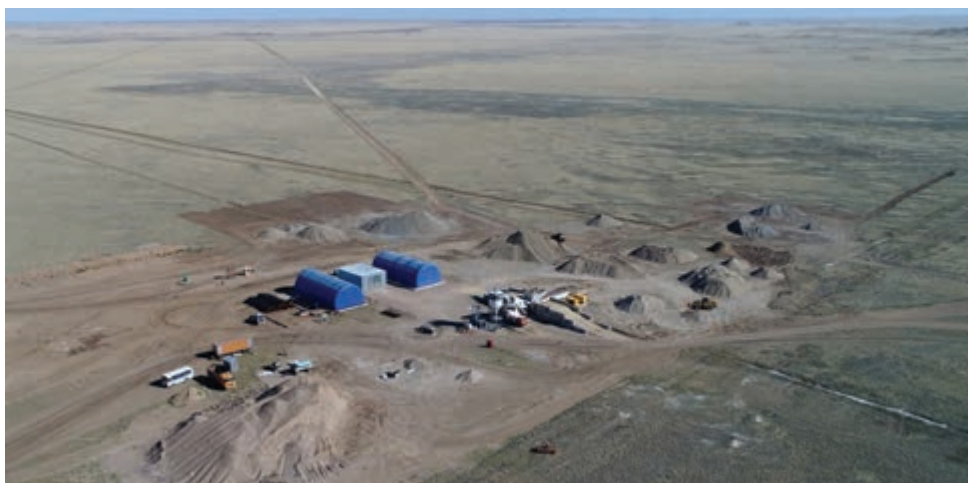


Рисунок 3.51. Вид на промплощадку

На небольших участках заливка бетона проводилась от бортов опалубки. Подача бетона дозатором с использованием автокрана проводилась для равномерного распределения бетона на расстоянии 5-15 м от края опалубки. Заливка бетоном наиболее крупных участков проводилась по секторам (Рисунок 3.52).



а) Заправка АБС бетонной смесью



б) Заливка бетона на площадке «Афина»



в) Заливка бетона на площадке «Афина»



г) Подача бетона автокраном с дозатором. Площадка «Гестия»



д) Процесс бетонирования больших участков по секторам - участок «Посейдон»



е) Процесс бетонирования больших участков по секторам - участок «Посейдон»



ж) Забетонированный участок «Гестия»

Рисунок 3.52. Бетонирование площадок

Из каждой партии бетона отбиралась серия образцов для лабораторных испытаний для подтверждения проектной марки бетона. Испытания проводились в испытательной лаборатории строительных материалов и конструкций. Результаты испытаний оформлены в виде протоколов, из которых следует, что диапазон значений прочности уложенного бетона варьируется от 26,3 до 27,5 МПа, что соответствует проектной марке В20 (Рисунок 3.53). На каждую партию образцов был получен протокол испытаний, подтверждающий его качество.



а) Вибростол для отливки образцов в лабораторию



б) Готовые образцы на просушке

Рисунок 3.53. Образцы бетона для испытаний

Устройство гидроизоляции из геомембраны

После завершения бетонных работ была проведена работа по гидроизоляции – сваривание верхнего и нижнего слоя защитного колпака.

Работы по гидроизоляции завершались после достижения бетоном проектных прочностей (Рисунок 3.54).



а) Сварка верхнего слоя геомембраны



б) Сварка верхнего и нижнего слоя геомембраны



в) Гидроизоляция верхней части защитного колпака



г) Гидроизоляция верхней части защитного колпака



д) Герметизация участка «Гестия»

Рисунок 3.54. Гидроизоляция защитного колпака и его обваловка

Обваловка грунтом железобетонного колтака.

После герметизации железобетонных сооружений они обваловывались чистым грунтом слоем не менее 1 метра (Рисунок 3.55). Угол склона навала в результате планировки составил менее 35° .



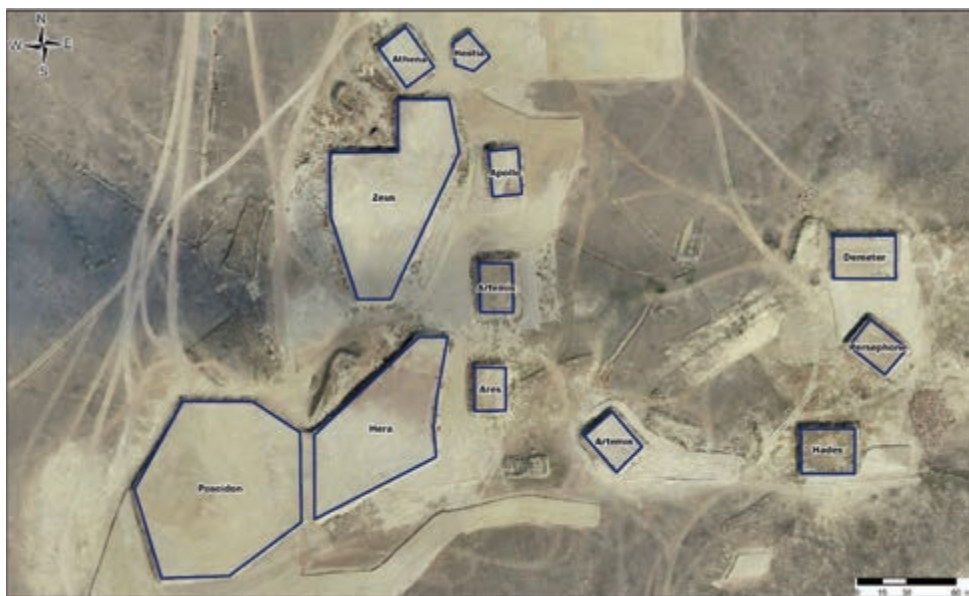
а) Обваловка грунтом



б) Обваловка грунтом



в) Вид на обвалованные сооружения



г) Ортофотоплан с проектными и фактическими границами обваловки грунтом защитных сооружений

Рисунок 3.55. Гидроизоляция защитного колпака и его обваловка грунтом

Отсыпка грунтом наиболее загрязненных участков

Согласно проекту, на участках с высокими уровнями поверхностного загрязнения была проведена отсыпка чистым грунтом на 9 участках (Рисунок 3.56). Толщина отсыпки, согласно проекту, составила не менее 0,5 метра.



а) Разгрузка чистого грунта для отсыпки загрязненных участков



б) Отсыпка загрязненных участков



Условные обозначения

□ защитные колпаки □ участки отсыпки

в) Схема отсыпки с наложением на ортофотоплан

Рисунок 3.56. Отсыпка загрязненных участков

3.4.2. Результат проведения работ

Работы на объекте «Олимп» закончены в конце 2020 г. Работы проводились параллельно и непрерывно, за исключением перерывов в зимнее время из-за невозможности проводить бетонные работы и работы с геомембраной при отрицательных температурах.



Рисунок 3.57. Вид на объект «Олимп» по окончании работ

Выполнен весь объем работ, согласно проекту:

- проведена планировка территории работ для дальнейшего строительства защитных сооружений;
- проведено бурение, обсадка скважин на глубину 4 м, все 2796 скважин заполнены бетоном с установленным в них металлическим каркасом;
- проведена отсыпка щебнем и песком и выравнивание всех 12 участков общим объемом 15 700 м³;
- проведена укладка основания сооружений геомембраной;
- проведена установка металлического каркаса на участках, установлена опалубка для заливки бетоном;
- проведена заливка бетоном участков общим объемом более 27 000 м³;
- проведена укладка геомембраны на верхней стороне сооружений и герметизация защитных сооружений. Общая площадь укладки геомембраны составила более 50 000 м².

– проведена обваловка сооружений верхним слоем почвы на высоту 1 м с формированием склонов с углом менее 35°;

– проведена отсыпка чистым грунтом участков с максимальным радиоактивным загрязнением на площади 42 800 м², высота отсыпки – не менее 0,5 м.

В процессе выполнения всех работ на всех стадиях его выполнения проводился контроль со стороны АПУУ, а после выполнения работ все инженерные сооружения были приняты комиссией экспертов и представителями АПУУ.

В процессе выполнения работ представители и эксперты АПУУ неоднократно посещали объекты и контролировали ход работ: Вейл Оксфорд, д-р Роберт Поуп, Клучко Люк Джон, Гибсон Марк Давид, д-р Риствет Байрон Лео, Салливан Марк Джеймс, Фишмен Дэвид Мика, Турин Ховард Джей, Харп Дилан Роберт, п/п-к Стивен Колдер, Александр Дубров, Сергей Колмыков и другие сотрудники агентства АПУУ и посольства США (Рисунок 3.58).





Рисунок 3.58. Специалисты АПУУ и НЯЦ на рабочих площадках

3.5. Усиление безопасности на объектах М-3, М-4

Объекты М-3 и М-4 по своему функциональному назначению являются могильниками ОЯД. Объект М-3 на момент изучения хорошо

выделялся на местности благодаря ограждению колючей проволокой, с четко выделяемыми границами на земле (Рисунок 3.59). В тоже время, могильник М-4, вероятно был стихийным и выявлен в результате сплошного систематического обследования «Опытного поля» методом пешеходной гамма-съемки (Рисунок 3.60) (глава 2.2.5. Объекты вне технических площадок).



Рисунок 3.59. Вид на могильник М-3 перед началом работ



Рисунок 3.60. Вид на могильник М-4 перед началом работ

В рамках контракта проведены работы по усилению безопасности объектов М-3 и М-4.

3.5.1. Технические решения и методика проведения работ

По результатам всех исследований определены технические решения и методы обеспечения безопасности каждого объекта.

Для объекта М-3 ввиду значительных размеров и неполной изученности состава и объемов ОЯД было решено создать многоуровневые барьеры физической защиты. Основными барьерами являются земляной ров с насыпью и двойной забор с колючей проволокой, а также оснащение сейсмическими и контактными датчиками [6].

Объект М-4 ввиду малого объема ОЯД и достаточной изученности решено было ликвидировать путем изъятия ОЯД и размещения их в пункте долговременного хранения [2].

Могильник М-3

Для защиты объекта был создан проект, учитывающий особенности работы системы физической безопасности объектов на СИП, а также особенности самого охраняемого объекта.

Проект включает создание нескольких уровней защиты (Рисунок 3.61, Рисунок 3.62, Рисунок 3.63):

- внешний уровень – двойной ряд ограждения из колючей проволоки с воротами для доступа на объект;
- внутренний уровень – защитный ров и траншея.

Дополнительно объект оснащается по периметру и внутри объекта сейсмическими и контактными датчиками.



Рисунок 3.61. Проект физических барьеров объекта М-3

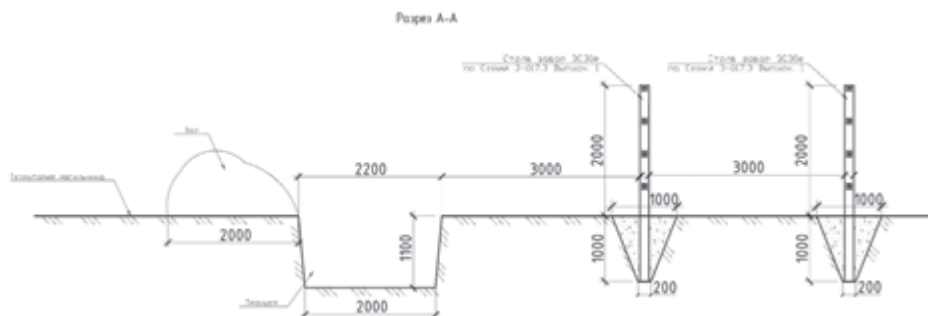


Рисунок 3.62. Поперечный разрез физических барьеров 2 уровня на М-3



Рисунок 3.63. Элементы безопасности объекта М-3

На данный момент по периметру объекта создана дорога для патрулирования силами Национальной гвардии для визуального контроля целостности физических барьеров.

Могильник М-4

По результатам обследования определены контуры с ОЯД. Объемы изымаемого материала были рассчитаны по результатам исследований перераспределения радионуклидов по глубине.

Исходя из объемов ОЯД, условий рельефа был выбран способ с изъятием ОЯД ручным способом. Использование ручного способа привело к снижению объемов, изымаемых ОЯД. Кроме того, это позволило оперативно проводить коррекцию по изъятию загрязненного грунта, что позволило гарантированно изъять ОЯД (Рисунок 3.64).



а) Подготовка к работам



б) Изъятие ОЯД



в) Контроль качества изъятия спектрометром и изъятый грунт

Рисунок 3.64. Изъятие ОЯД на объекте М-4

Изъятие грунта проводилось в первичную упаковочную тару – полиэтиленовые мешки, после чего они размещались в транспортные

упаковочные контейнеры (ТУК) для дальнейшей транспортировки к месту временного хранения.

Всего было подготовлено 40 мешков. Общая масса изъятых отходов с ОЯД составил ~ 1,5 т.

После изъятия ТУКи с ОЯД были перемещены на участок переработки извлеченного грунта, где проводилась переработка (бетонирование) извлеченного грунта.

Все операции по обращению с ОЯД были унифицированы с работами на участке 6, площадки П-5, а работы по переработке проходили в одно время. Более детально технологические операции описаны в пункте главы 3.3 Усиление безопасности на технической площадке П-5.

11 ТУКов размещены на долговременное хранение на территории КИР «Байкал-1», на которой расположено хранилище РАО.

3.5.2. Результат проведения работ

По результатам работ создан комплекс физических барьеров, ограничивающий доступ к объекту М-3 на площади 9,6 га (Рисунок 3.65).



Рисунок 3.65. Вид объекта М-3

После завершения работ по изъятию на участке М-4 проведена ПГСС, показавшая, что содержание ОЯД в грунте ниже уровня 8 ppm (Рисунок 3.66).

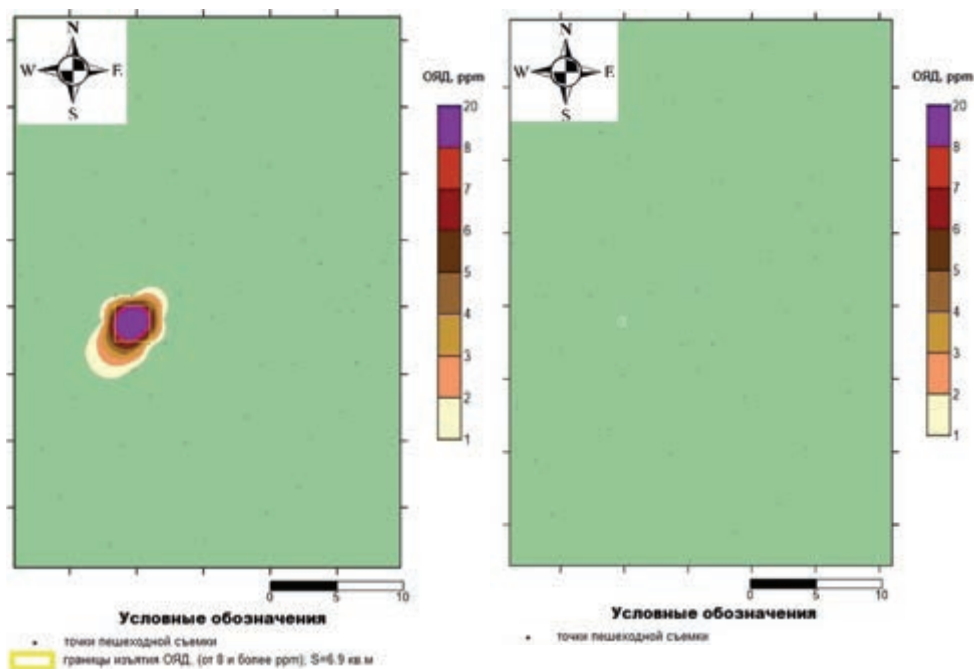


Рисунок 3.66. Содержание ОЯД до и после работ по рекультивации на М-4

После получения результатов ПГСС техногенные нарушения рельефа, такие как траншеи и воронки, засыпались и планировались под естественный рельеф (Рисунок 3.67).



Рисунок 3.67. Вид на объект М-4 после завершения работ

Размещение на долговременное хранение 11 контейнеров с радиоактивным грунтобетоном с объекта М-4 на КИР «Байкал-1» выполнено в полном объеме.

После завершения работ все изъятые ОЯД задекларированы и поставлены под гарантии МАГАТЭ.

Выполненные мероприятия по предотвращению несанкционированного доступа к ОЯД способствуют общему улучшению экологической обстановки на территории «Опытного поля».

В процессе выполнения работ представители и эксперты АПУУ неоднократно посещали объекты и контролировали ход работ: Гибсон Марк Давид, д-р Риствет Байрон Лео, Турин Ховард Джей и другие сотрудники агентства АПУУ и посольства США (Рисунок 3.68).



Рисунок 3.68. Специалисты США и НЯЦ на объекте М-3 и М-4

3.6. Обеспечение безопасности проведения работ

3.6.1. Радиоэкологическое сопровождение работ

Радиологические измерения

При проведении работ ежедневно осуществлялся контроль радиационных параметров, включающий в себя измерение МЭД, плотности потоков α - и β -частиц на месте проведения работ, спецодежды и кожных покровов персонала, в местах отдыха и приема пищи персонала, задействованных в работе транспортных средств, дорожной техники, механизмов и оборудования (Рисунок 3.69).

В результате проводимого радиационного контроля, за весь период проводимых работ, загрязнение в местах пребывания персонала, на территории полевых лагерей, санпропускников, техники, оборудования, спецодежды, кожных покровов обнаружено не было.



а) Радиационный контроль на месте проведения работ



б) Радиационный контроль транспортных средств



в) Радиационный контроль поверхности спецодежды персонала

Рисунок 3.69. Радиационный контроль поверхности транспортных средств, спецодежды персонала

Индивидуальный дозиметрический контроль внешнего облучения

Индивидуальный дозиметрический контроль состоял из двух частей: основной индивидуальный дозиметрический контроль и допол-

нительный (Рисунок 3.70). В ходе обеспечения основного индивидуального дозиметрического контроля внешнего гамма-излучения, персоналу ежеквартально выдавались индивидуальные термолюминесцентные дозиметры, вне зависимости от места проведения работ. При дополнительном – так же выдавались индивидуальные термолюминесцентные дозиметры, но на каждом объекте использовались свои, которые в течение квартала не вывозились с объекта. Если в определенный период, кто-то из персонала не был задействован в работах, дозиметры хранились в жилой зоне объекта у ответственного за выдачу и сбор дозиметров. Таким образом, доза, регистрируемая дополнительным дозиметром, равнялась дозе, получаемой непосредственно на том объекте, на котором он выдавался.

Оперативный контроль за дозой внешнего облучения на месте проведения работ проводился с помощью электронного прямопоказывающего персонального дозиметра ДКГ РМ1610 (Рисунок 3.70). Данный дозиметр выдавался ежедневно, на время рабочей смены, одному из работников.



Рисунок 3.70. Приборы контроля внешней дозы

За весь период проведения работ полученные значения доз внешнего облучения не превышали значений предела годовой дозы для персонала (20 мЗв), регламентируемого в гигиенических нормативах.

Контроль внутреннего облучения с использованием биофизических методов

Контроль внутреннего облучения персонала, задействованного при проведении работ, проводился с помощью биофизических методов анализа и включал в себя как прямые измерения активности радионуклидов в теле с использованием счетчика излучения человека (СИЧ), так и косвенные измерения – определение активности радионуклидов в биосубстратах и в воздухе.

Измерения на счетчике излучения человека проводились в специальной низкофоновой камере ежегодно: до начала полевого сезона и после его завершения (Рисунок 3.71). В качестве детектирующего устройства используют гамма-спектрометр с широкополосным детектором BE5030 на основе особо чистого германия.



Рисунок 3.71. Измерения на СИЧ

Для определения активности радионуклидов в биосубстратах, ежегодно, до начала полевого сезона и после его завершения, у персонала отбирался суточный объем урины (примерно равный 1,5 л) для последующего анализа методами радиохимии и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

С целью контроля радиоактивного загрязнения воздуха в жилой и производственной зонах отбирались пробы воздушных аэрозолей. Отобранные пробы отправлялись в лаборатории ИРБЭ НЯЦ РК для определения объемной активности радионуклидов.



Рисунок 3.72. Отбор проб воздуха в жилой и рабочей зонах

Дополнительно с целью оперативного контроля возможного радиоактивного загрязнения воздушной среды при проведении буровых работ на объектах «Олимп» и «Пандора», отобранные в производственной зоне пробы воздуха анализировались в мобильной лаборатории с использованием гамма-спектрометра с широкополосным детектором на основе особо чистого германия.

На основании полученных результатов о содержании радионуклидов в организме человека, биосубстратах и воздухе производился расчет величины годовой эффективной дозы от внутреннего облучения.

За весь период проведения работ полученные значения доз внутреннего облучения не превышали значений предела годовой дозы для персонала (20 мЗв), регламентируемого в гигиенических нормативах.

Суммарная эффективная доза внешнего и внутреннего облучения персонала

Суммарная эффективная доза от внешнего и внутреннего облучения каждого работника рассчитывалась как сумма максимальной эффективной дозы внешнего облучения, полученной в рамках проведения основного индивидуального дозиметрического контроля, и суммарной годовой эффективной дозы внутреннего облучения.

Максимальные суммарные годовые дозы внешнего и внутреннего облучения, полученные при проведении работ, не превысили значения предела доз для персонала, регламентируемого в гигиенических нормативах и равного 20 мЗв.

3.6.2. Обеспечение безопасности и охраны труда, промышленной, пожарной безопасности, охраны окружающей среды, электробезопасности

Во время проведения работ обеспечивалась безопасность и охрана труда, промышленная, пожарная безопасность, охрана окружающей среды, электробезопасность в соответствии со всеми нормативными требованиями и законодательными актами Республики Казахстан и разработанным Планом работ «По ремедиации и усилению физической защиты на объектах СИП». За время проведения работ внештатных ситуаций по безопасности и охране труда, промышленной, пожарной безопасности, охране окружающей среды и электробезопасности зафиксировано не было.

Все работы проводились под контролем дозиметрической службы по наряду-допуску на выполнение работ с повышенной радиационной безопасностью.

Поскольку работы на объекте охватывали большой объем различной промышленно-опасной техники, а количество персонала доходило до 50 человек в смену, поэтому для обеспечения безопасности проведения работ на площадке и в жилом лагере регулярно проводились учения по наиболее вероятным сценариям, таким как пожары на различных установках, а также аварии с радиоактивным загрязнением техники, персонала и объектов окружающей среды (Рисунок 3.73, Рисунок 3.74).

В учениях принимали участие все сотрудники, непосредственно занятые на работах, аварийно-спасательное формирование, а также те, которые могут оказаться в зоне аварии.



Рисунок 3.73. Учения на рабочей площадке и в полевом лагере по тушению пожара

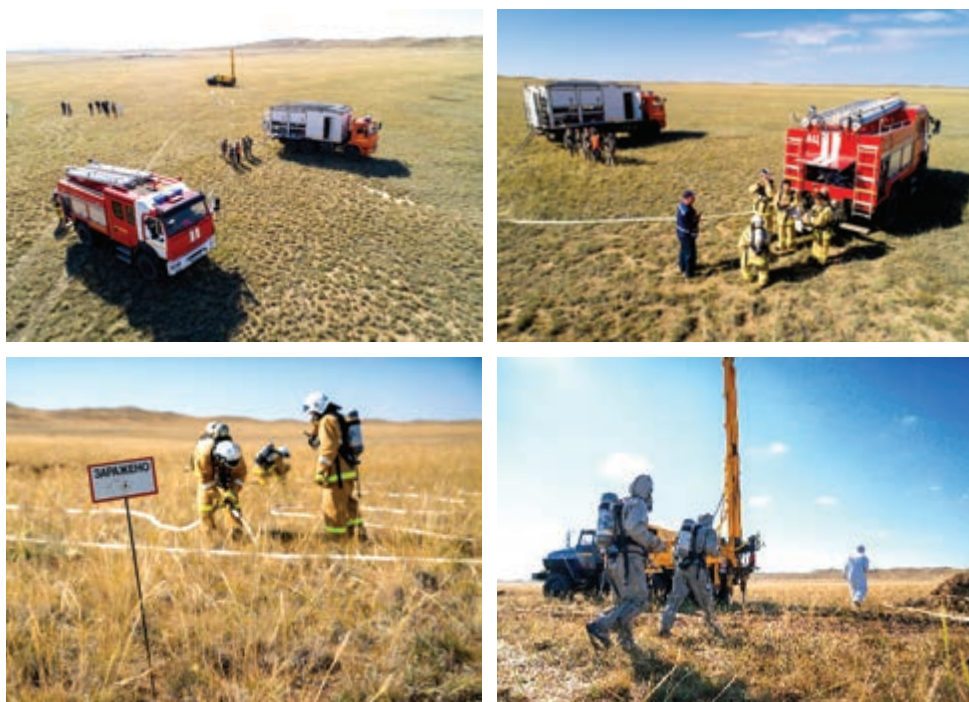


Рисунок 3.74. Учения по ликвидации аварии на буровой установке с возникновением пожара и радиоактивного загрязнения

После окончания спасательных работ вместе с персоналом предприятия были разобраны основные ошибки и произведен тщательный анализ предполагаемой чрезвычайной ситуации. Было отмечено, что соблюдение требований промышленной безопасности является главным и основным правилом поведения на рабочем месте для любого сотрудника предприятия, которое сводит к минимуму возможность возникновения опасности.

За период проведения работ, с 2012 по 2020 гг., аварийных ситуаций, связанных с возникновением промышленных или радиационных аварий, не происходило.

А также, дополнительную опасность для персонала и объектов представляли сезонные степные пожары, регулярно возникающие на территории СИП. Для ликвидации пожаров принимались комплексные меры, например, опашка периметра объектов с созданием пожарозащитной полосы и путей подступления огня. Непосредственное тушение пожаров происходило силами работников и специалистов аварийно-спасательного формирования (Рисунок 3.75).



Рисунок 3.75. Ликвидация пожаров на объектах

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 3

1. Отчет по мероприятиям по изъятию ОЯД на участках 2, 12, 13 и дискованию (вспашке) поверхностного слоя почвы на участках 2, 3, 12, 13. Этап 0020, 0021 и 0023. – Курчатов, 2014. – 39 с.
2. Итоговый отчет по вспашке и планировке участка на площадке П-3 и удалению ОЯД с объекта М-4. Этап 0036. – Курчатов, 2016. – 29 с.
3. Отчет по результатам изъятия ОЯД на площадке П-5. Этап 0015. – Курчатов, 2016. – 13 с.
4. Итоговый отчет по обеспечению безопасности материалов на площадке Пандора. Этап 0040. – Курчатов, 2020. – 54 с.
5. Заключительный отчет по проведению ремедиации площадки П-2М. Этап 0028. – Курчатов, 2019. – 45 с.
6. Рабочий план проведения работ по физической защите могильников. Этап 0024. – Курчатов, 2013. – 8 с.

ГЛАВА 4. СОЗДАНИЕ СИСТЕМ МНОГОУРОВНЕВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Анализ проведенных работ по программе «Снижения рисков распространения на СИП» показал, что абсолютно безопасными по критериям угроз распространения и терроризма многие объекты бывшего ядерного полигона не станут никогда, по крайней мере, в исторически обозримом будущем. Значит, создание физических барьеров для данных объектов недостаточно. Необходимо исключить не только возможность негативных последствий от несанкционированной деятельности, но и требуется, чтобы и разрешенная деятельность выполнялась в строго определённых рамках. Во-первых, необходимо обеспечить защиту этого района от любых несанкционированных попыток проникнуть на его территорию. Во-вторых, ограничить хозяйственную деятельность в районе расположения объектов с ОЯД.

Для обеспечения защиты объектов, НЯЦ РК было принято решение о проведении комплекса работ по созданию систем многоуровневой безопасности охраняемых объектов.

4.1. Установка 3-х уровневой системы безопасности

На территории «Опытного поля» было определено 4 охраняемых объекта, подлежащих дополнительной охране: площадка П-2М (проект «Олимп»), участок 6 площадки П-5 (проект «Пандора»), площадка РБШ (проект «Спичечный коробок» («Проведение комплекса научно-технических и инженерных работ по приведению бывшего Семипалатинского испытательного полигона в безопасное состояние...»)) и объект М-3.

В рамках основного соглашения между НЯЦ РК и АПУУ создана трехуровневая система безопасности (СБ) испытательной площадки «Опытное поле», которая вошла в созданную ранее систему защиты площадок «Дегелен и «Актан-Берли». Система безопасности включает 3 уровня:

- 1 уровень – специальные знаки;
- 2 уровень – барьеры для предотвращения доступа;
- 3 уровень – система дистанционного обнаружения.

Объекты, расположенные на территории СИП, имеют нестандартную конфигурацию:

- их периметры имеют большую протяженность;
- необходимая для работы систем безопасности инфраструктура отсутствует;
- оборудование работает в сложных климатических условиях.

В настоящее время оборудование установлено, сконфигурировано и выполняет функции по обнаружению и задержке доступа потенциальных нарушителей.

4.1.1. Технические решения систем безопасности

Система создавалась с учетом предыдущего опыта создания и эксплуатации СБ других объектов СИП, в частности объекта «Дегелен». Это было обусловлено тем, что применяемое оборудование подходило для использования в условиях оснащаемого объекта. Персонал имел навыки обслуживания и ремонта.

1 уровень СБ

1 уровень (предупреждающий) – это специальные знаки с предупреждающими надписями на государственном и русском языках.

В 2020 г. для охраны площадки «Опытное поле» была создана СБ 1 уровня.

По периметру испытательной площадки «Опытное поле» установлены 705 информационных столбов с предупреждающими знаками на государственном и русском языках «Запретная зона! Проезд (Проход) запрещен!» (Рисунок 4.1).



Рисунок 4.1. Информационные столбы с предупреждающими знаками

2 уровень СБ

2 уровень предназначен для сдерживания нарушителей и техники. Представляет собой физические барьеры, препятствующие проникновению нарушителя на охраняемые объекты:

- ворота со специальными знаками;
- ограждения из колючей проволоки;
- рвы с отвалами.

Все элементы расположены вокруг охраняемых объектов и имеют замкнутый контур к охраняемым объектам.

Первым объектом на территории испытательной площадки «Опытное поле», оснащенным 2 уровнем СБ, стал объект М-3 (Рисунок 4.2). По границе объекта были установлены физические барьеры и предупреждающие знаки. По результатам работ создан комплекс физических барьеров, ограничивающий доступ к объекту М-3. Полная длина траншеи составила 2400 м, периметр ограждений – 3200 м.



Рисунок 4.2. СБ 2 уровня объекта М-3

Далее, были созданы СБ 2 уровня на объектах «Пандора», «Олимп» и «Спичечный коробок», которые построены по аналогичным техническим решениям, что и на М-3. Схема физических барьеров 2 уровня представлена на рисунке (Рисунок 4.3).

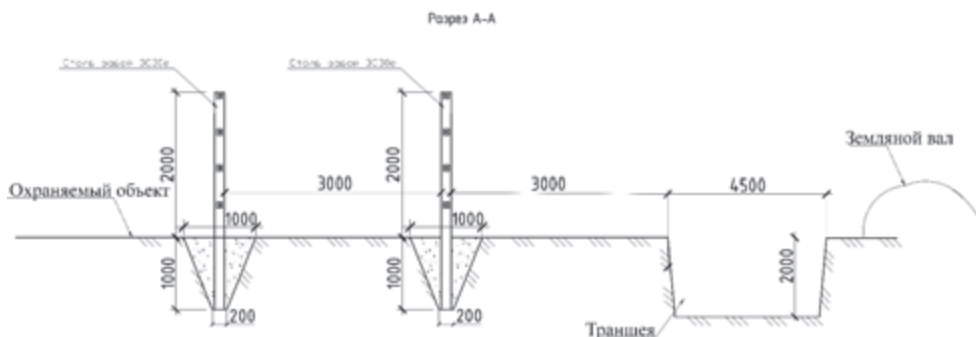


Рисунок 4.3. Поперечный разрез физических барьеров 2 уровня

Процесс создания СБ 2 уровня включал:
- установку 2 рядов столбов с колючей проволокой (Рисунок 4.4);



Рисунок 4.4. Монтаж колючей проволоки

- установку ворот (Рисунок 4.5);



Рисунок 4.5. Вид на ворота на объекте «Спичечный коробок»

- создание защитного рва и земляного вала (Рисунок 4.6).



Рисунок 4.6. Создание рва и насыпи вокруг наружного периметра

В результате работ созданы физические барьеры на 4-х охраняемых объектах площадки «Опытное поле».

Фотографии СБ 2 уровня охраняемых объектов представлены на рисунке (Рисунок 4.7).



а) «М-3»



б) «Спичечный коробок»



в) «Пандора»



г) «Олимп»

Рисунок 4.7. СБ 2 уровня на охраняемых объектах

3 уровень СБ

На текущий момент СБ 3 уровня «Опытного поля» представляет собой комплекс технических средств и включает в себя:

- систему обнаружения;
- систему видеоконтроля и видеооценки ситуации;
- систему радиосвязи и передачи данных;
- систему автономного электропитания;
- систему сбора и обработки информации;
- систему контроля целостности объектов.

Все системы работают автономно и в режиме 24/7.

Управление и сбор данных осуществляется на основном пункте сбора и обработки информации на Базе сил оперативного реагирования (оператор – Национальная гвардия) и в г. Курчатов (оператор – НЯЦ РК).

Система контроля целостности объектов проводится на периодической основе ежегодно (подробнее в пункте главы 4.2 Контроль целостности состояния объектов).

Создание СБ 3 уровня

Работы по монтажу инженерных сооружений и физических барьеров выполнялись специалистами НЯЦ РК (Рисунок 4.8).



Рисунок 4.8. Работы по монтажу инженерных сооружений

Система обнаружения

В качестве средств обнаружения проникновения были установлены зарекомендовавшие себя на других объектах детекторы сейсмического

принципа действия. Они автономны, электропитание осуществляется от источника питания, которого хватает на срок до нескольких лет работы. Сигналы тревоги передаются на пульт оператора по радиоканалу. Диапазон рабочих температур соответствует местным климатическим условиям. Используется способ установки с маскировкой под окружающую местность. Алгоритм обнаружения позволяет различать человека и механическое транспортное средство. Дальность обнаружения до нескольких сотен метров.

Указанными детекторами оснащены как охраняемые объекты, так и основные пути подхода (подъезда) к данным объектам (Рисунок 4.9, Рисунок 4.10).



Рисунок 4.9. Установка и наладка детекторов сейсмического принципа действия



Рисунок 4.10. Отображение информации о состоянии детекторов объекта на экране системы сбора и отображения информации

Система видеоконтроля и видеооценки ситуации

Для удаленного видеоконтроля и быстрой видео оценки ситуации на трех площадках были установлены пункты удаленного мониторинга (ПУМ) (Рисунок 4.11).





Рисунок 4.11. ПУМ объектов РБШ, «Пандора» и «Олимп»

Основу ПУМа составляет контейнер с модульным размещением в нем оборудования и со смонтированными на корпусе конструкциями с солнечными панелями.

Внутри контейнера размещаются АКБ, преобразователи напряжения и другое оборудование. За счет отвода тепла от оборудования внутри контейнера удается поддерживать приемлемый температурный режим в зимнее для работы оборудования.

В состав ПУМа также входит система автономного питания (солнечные панели, ветрогенератор), мачта для размещения антенного оборудования, система видеоконтроля и мачта грозозащиты.

Такой набор инженерных сооружений позволил размещать на мачте как видеокамеры, так и антенны передачи данных и радиосвязи (Рисунок 4.12).



Рисунок 4.12. Мачты с установленными видеокамерами и антеннами передачи данных

Видеосигналы в реальном времени транслируются в место расположения сил охраны и в НЯЦ РК.

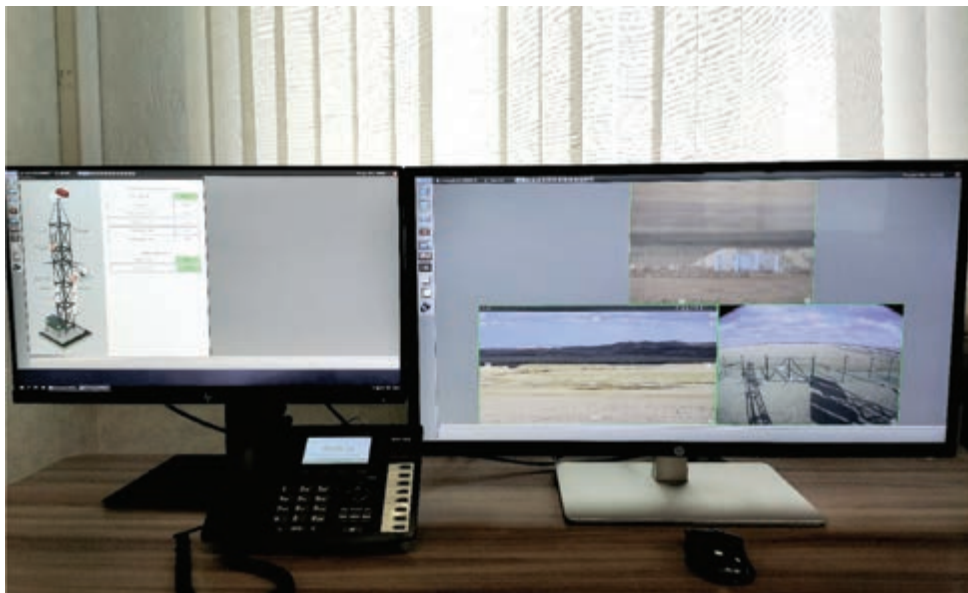


Рисунок 4.13. Правый монитор – изображение охраняемого объекта в реальном времени (защищаемый объект, элементы СБ, периметр), Левый монитор – экран состояния элементов оборудования ПУМа

Система автономного электропитания

Система автономного питания компонентов ПУМа предназначена для непрерывной автономной работы комплекса.

Элементы системы автономного электропитания:

- Солнечные панели – обеспечивают основное энергоснабжение, однако их эффективность снижается в зимний период или в погоду с высокой облачностью.

- Ветрогенератор обеспечивает дополнительное электропитание компонентов в ветреную погоду.

- Аварийный генератор с запасом топлива на продолжительный период автономной работы, используется в период крайне неблагоприятных погодных условий, не позволяющих использовать солнечные панели или ветрогенератор.

Поскольку работа всех элементов автономного электропитания является непостоянной, система дополнительно имеет буферные батареи аккумуляторов, способные принимать заряд от всех источников электроэнергии.



Рисунок 4.14. Солнечные панели и аккумуляторы автономной системы электропитания

Система радиосвязи и передачи данных

Вся информация о работе и состоянии компонентов СБ 3 уровня, включая сигналы тревоги и управления, передаются на Базу сил оперативного реагирования и в г. Курчатов по сети беспроводной передачи данных. В связи с тем, что расстояние между охраняемыми объектами составляет более 10 км, а расстояние от охраняемых объектов до г. Курчатов – до 100 км, была создана соответствующая сеть ретрансляторов.

Для обеспечения оперативной связи сил охраны была организована радиосвязь, покрывающая территорию всей площадки «Опытное поле» и подъездных путей.

Система радиосвязи и передачи данных была интегрирована в существующую систему, используемую для площадок «Дегелен» и «Актан-Берли». В случае необходимости каналы связи могут дублироваться для обеспечения непрерывности работы всех компонентов СБ 3 уровня.

Система сбора и обработки информации

Управление и сбор данных осуществляется на основном пункте сбора и обработки информации на Базе сил оперативного реагирования (оператор – Национальная гвардия) и в г. Курчатов (оператор – НЯЦ РК).

Количество регистрируемых компонентов СБ 3 уровня только для «Опытного поля» – более 200: более 100 детекторов системы обнаружения, десятки видеокамер, различные регистраторы, а также десятки датчиков систем связи и автономного питания оборудования.

Все данные хранятся на серверах и могут быть воспроизведены через продолжительное время, а также используются как доказательство правонарушений – например, видео пересечения нарушителями границ охраняемых объектов, их сопровождение и процесс задержания.

Администратор Базы сил оперативного реагирования получает данные с оборудования управления, транзита сигналов, радиосвязи. Мониторинг сигналов СБ 3-уровня ведется в режиме 24/7.

Администратор НЯЦ РК осуществляет анализ и контроль обстановки, управление оборудованием, взаимодействие с силами охраны, оформление и контроль доступа на объекты (Рисунок 4.15, Рисунок 4.16).



Рисунок 4.15. Операторский зал

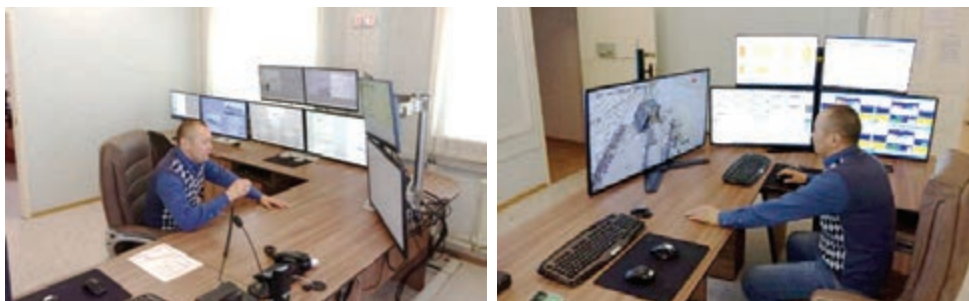


Рисунок 4.16. Осуществление взаимодействия с силами охраны администратора системы

Дополнительно, в случае возникновения нештатных ситуаций для проведения координационных работ предусмотрен резервный пункт сбора и обработки информации (Рисунок 4.17). Он находится в головном офисе НЯЦ РК. Установлено оборудование управления, отображения, приема сигналов. Имеется возможность конференцсвязи по сети Интернет.



Рисунок 4.17. Резервный пункт сбора и обработки информации

Эксплуатация СБ

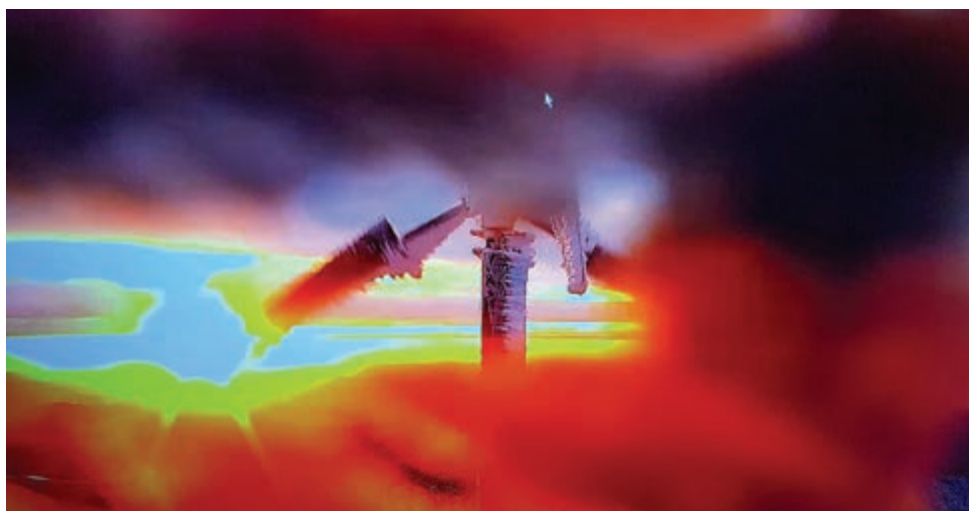
Эксплуатация созданных СБ на «Опытном поле» показала и выявила ряд сложностей при их эксплуатировании в экстремальных погодных условиях. Сложные погодные и климатические условия создают критические условия для работы как оборудования, так и персонала, занимающегося его обслуживанием. Температура летом достигает до $+45^{\circ}\text{C}$, зимой до -45°C , порывы ветра достигают 48 м/сек. В переходный период «осень-зима» и «зима-весна», вследствие перепада температур, образуется наледь, влияющая на работу оборудования. Снежный покров зимой достигает одного метра и выше.



а) Ветроненератор в условиях обледенения и штормового ветра



д) Техперсонал, обслуживающий элементы СБ



с) Обледенение камеры наблюдения

Рисунок 4.18. Погодные условия работы оборудования и персонала

В летнее время регулярно возникают степные пожары, которые повреждают оборудование системы обнаружения. Огнем повреждаются антенны и коммутационные кабели.



Рисунок 4.19. Поврежденное пожаром оборудование

Патрулирование «Опытного поля»

Поскольку площадь «Опытного поля» составляет более 270 км², поэтому для охраны объектов используется патрулирование силами Национальной гвардии РК.

Патрулирование осуществляется на круглогодичной основе силами оперативного реагирования Национальной гвардии.

Протяженность основных дорог патрулирования – порядка 100 км.

4.1.2. Результат проведения работ

Работы по созданию трехуровневой защиты безопасности испытательной площадки «Опытное поле» проведены в соответствии с нормами и правилами в области безопасности и направлены на обеспечение защиты охраняемых объектов. Выполнение работ обеспечило надежное функционирование СБ защиты объектов на территории площадки «Опытное поле», отвечающее всем требованиям, предъявляемым к системам. Реализация данного проекта обеспечила защиту объектов с учетом современных угроз и научно-технических достижений в области безопасности, что дало возможность пресечения на ранних стадиях любых вероятных попыток несанкционированного доступа, а также любых других видов вмешательства, включая диверсионно-террористические акций.

4.2. Контроль целостности состояния объектов

За последнее десятилетие очень быстро начало развиваться направление использования беспилотных летательных аппаратов для прове-

дения аэрофотосъемки. В связи с этим появилась возможность получать данные не только со спутников и самолетов, но и малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), при этом повысилась оперативность получения информации и её качество.

НЯЦ РК уже несколько лет использует БПЛА, как часть СБ 3 уровня, осуществляя мониторинговые работы по контролю целостности охраняемых объектов. Данный вид мониторинга позволяет получать ортофотопланы и цифровые модели поверхности (ЦМП) высокого разрешения при помощи беспилотных летательных аппаратов и технологий ГИС, которые позволяют обнаруживать следы антропогенной деятельности, что в свою очередь, позволяет оперативно реагировать и ликвидировать появляющиеся угрозы нарушения целостности объектов.

4.2.1. Методология контроля

Выполнение аэрофотосъемки

Для контроля целостности объектов в НЯЦ РК применяются геодезические БПЛА, оснащенные приемниками GPS высокой точности, способных работать в режиме RTK, т.е. с моментальной передачей поправок от базовой станции, которые обеспечивают получение фотоматериалов с точностью пространственного положения лучше 5 см.

Дополнительно такой режим обеспечивает возможность проводить исследования дистанционно, т.е. даже не находясь на территории охраняемого объекта (в том числе и без опорных точек на местности), что благоприятно сказывается на его маскировке.

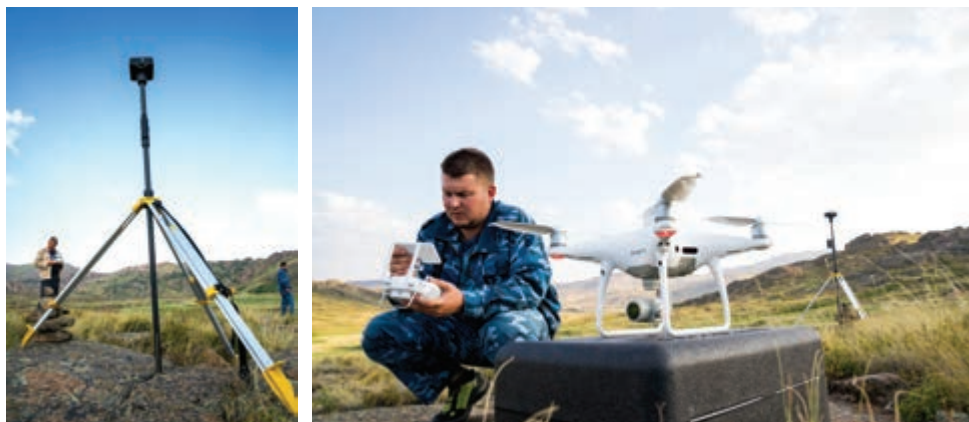


Рисунок 4.20. Вид базовой станции GPS D-RTK 2 и DJI Phantom 4 RTK

Для контроля целостности объектов на территории технической площадки в стороне от охраняемых объектов установлены маркеры для уста-

новки базовых станций. Все маркеры уравниены между собой с точностью до 2 см с использованием высокоточной GPS, а их точные координаты вносятся в базовую станцию перед полетом над объектом. Это необходимо для последующей привязки данных и дальнейших сравнительных измерений картографических материалов, полученных в разные периоды времени.

Подготовка полетного плана

Полет БПЛА осуществляется с ранее рассчитанными параметрами – в первую очередь высотой полета, определяющей дальнейшее качество фотоматериалов – разрешающую способность фотоснимка. Как правило, полеты осуществляются на высотах до 70 м, обеспечивая разрешения цифрового фотоснимка менее 2 см/пикс. Траектория полета подбирается из расчета условий местности и необходимого перекрытия. На «Опытном поле» полеты осуществляются по двойным, перпендикулярно расположенным полетным линиям, с перекрытием снимков не менее 70%.

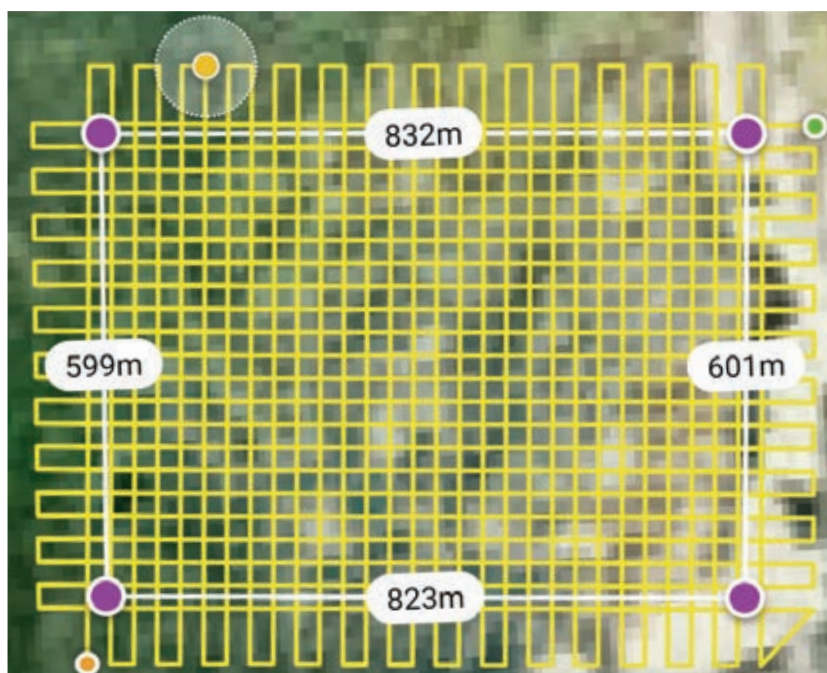


Рисунок 4.21. Схема полета БПЛА

Границы выполнения съемки обеспечивают покрытие всей территории объекта, СБ 2 уровня и буферной зоны.

Все параметры съемки сохраняются в проекте полета для каждого объекта и выполняются при последующих (мониторинговых) обследованиях, обеспечивая единство измерений.

Дополнительно на каждом объекте выполняется фото- и видеосъемка состояния объекта и элементов системы многоуровневой безопасности.

Аэрофотосъемка выполняется в светлое время суток при благоприятных погодных условиях с соблюдением всех норм безопасности полетов, преимущественно в весенне-летний период.

Обработка фотоматериалов и изготовление картографических материалов

Обработка фотоматериалов БПЛА выполняется с параметрами программного обеспечения, обеспечивающего оптимальные результаты для каждого объекта. Поскольку настройки полета и обработки зависят в первую очередь от рельефа, то индивидуальные настройки под каждый объект для площадки «Опытное поле», где характерна равнинная местность, не требуются.

Изготовление ортофотоплана и цифровой модели поверхности проводится с разрешением, обеспечивающим выполнение цели – контроля целостности охраняемых объектов, и, в первую очередь, выявления следов антропогенной деятельности и ее документирование.

Разрешение получаемого ортофотоплана соответствует разрешению фотографий с БПЛА и обычно составляет порядка 2 см/пикс., что позволяет выявлять на местности такие нарушения как проезды автотехники, проведение земляных работ, в том числе и бурения скважин диаметром более 10 см, изменение состава растительного покрова, а также иные изменения дневной поверхности.

Разрешение цифровой модели поверхности (ЦМП) обычно составляет 8-10 см/пикс., что является достаточным для решения задач контроля целостности объектов и мониторинга, а также оптимально для имеющихся вычислительных мощностей и занимаемого объема рабочих проектов. Так, например, обработка материалов объекта площадью 4 га занимает порядка 5-6 часов машинного времени, а размер проекта – порядка 15 Гб. А увеличение разрешения ЦМП вдвое, увеличит общее время обработки в 4 раза.

Использование ЦМП для контроля целостности объектов позволяет оценить микрорельеф объекта, выявляя такие процессы как просадки грунтов, точечные провалы, смещение грунта или отдельных элементов (крупных камней, плит), выявление земляных работ и т.д.

Применение ГИС

Системы ГИС используются на всех этапах работ: подготовительные камеральные – размещение базовых станций, построение полетных планов, планирование работ, подготовка картографических и навигационных материалов, расчет объемов работ, и на заключительном этапе – камеральная обработка, дешифрирование ортофотопланов и ЦМП, изготовление картографической продукции.

На основе функционала программного обеспечения ГИС для обработки полученных данных, сбора уже имеющейся пространственной информации, с целью хранения, а также анализа и визуализации данных, был создан ГИС-проект.

Построены полётные планы на исследуемые объекты, а также определено расположение точек базовых станций для БПЛА. Эти данные сохранены и экспортированы в необходимый формат для последующего выполнения аэрофотосъемки. Полученные данные аэрофотосъемки на исследуемые объекты, такие как ортофотопланы и ЦМП, были добавлены в ГИС-проект для последующей визуализации, анализа, подготовки картографического материала к отчётам и паспортам (Рисунок 4.22).

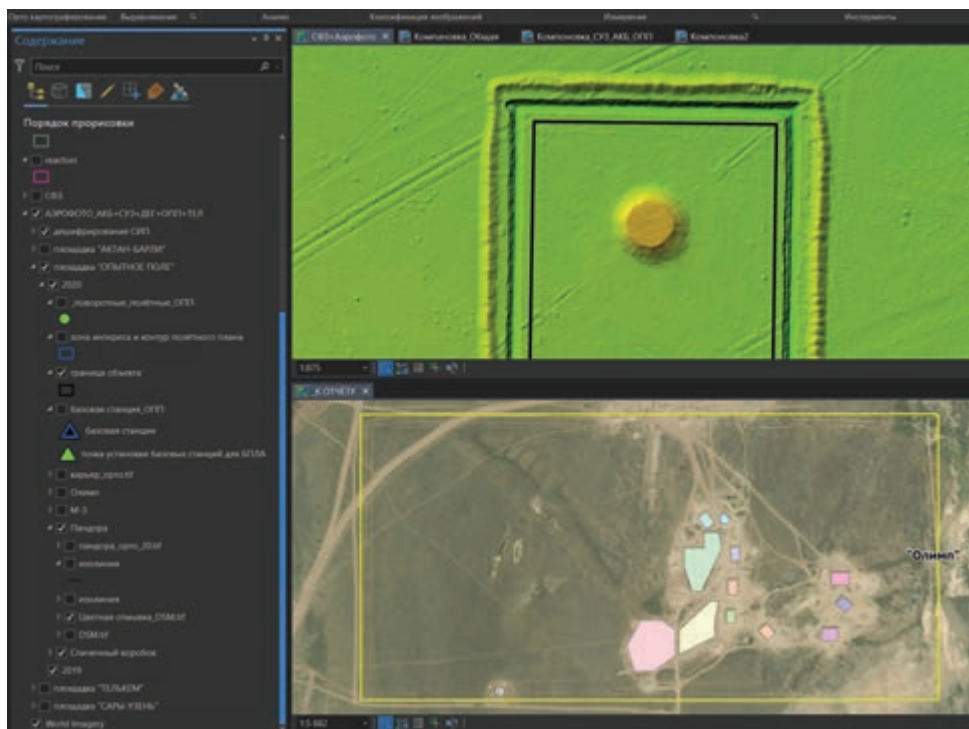


Рисунок 4.22. Визуализация проекта в ArcGIS Pro

Дешифрированию ортофотопланов и ЦМП подвергаются все объекты с целью выявления нарушений целостности объекта, его физических барьеров. Определяются и создаются классы пространственных объектов с контурами техногенной нарушенности, вычисляются их площади, поворотные точки и зоны интереса с вычислением их координат.

В базу данных заносится также сопутствующая информация – например, проектные и инженерные сооружения, результаты исследований (карты радиометрической съемки, гамма-съемки и т.д.).

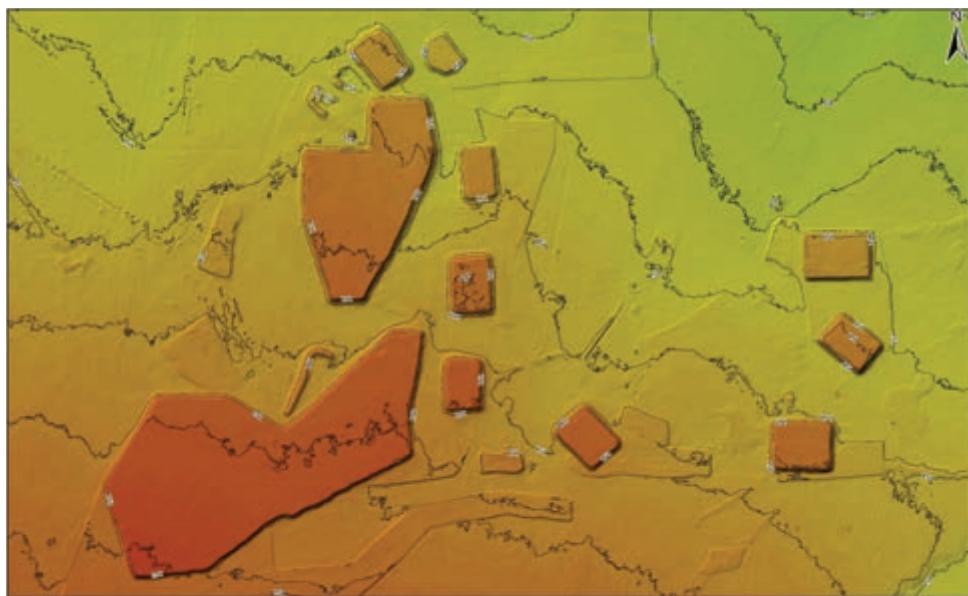
База данных непрерывно пополняется по мере поступления новой информации или изменений на объекте.

4.2.2. Результат проведения работ

В результате использования ГИС и БПЛА получены ортофотопланы высокого разрешения (Рисунок 4.23, Рисунок 4.25) и цифровая модель поверхности (Рисунок 4.24, Рисунок 4.26), которые анализируются на предмет возможного несанкционированного доступа и целостности объекта. На основе всех полученных данных создаются паспорта объектов, в которых отображается актуальная информация о объекте.



Рисунок 4.23. Ортофотоплан объекта «Олимп»



Условные обозначения

— горизонтали

Рисунок 4.24. Цифровая модель поверхности объекта «Олимп»



Рисунок 4.25. Ортофотоплан объекта «Пандора»

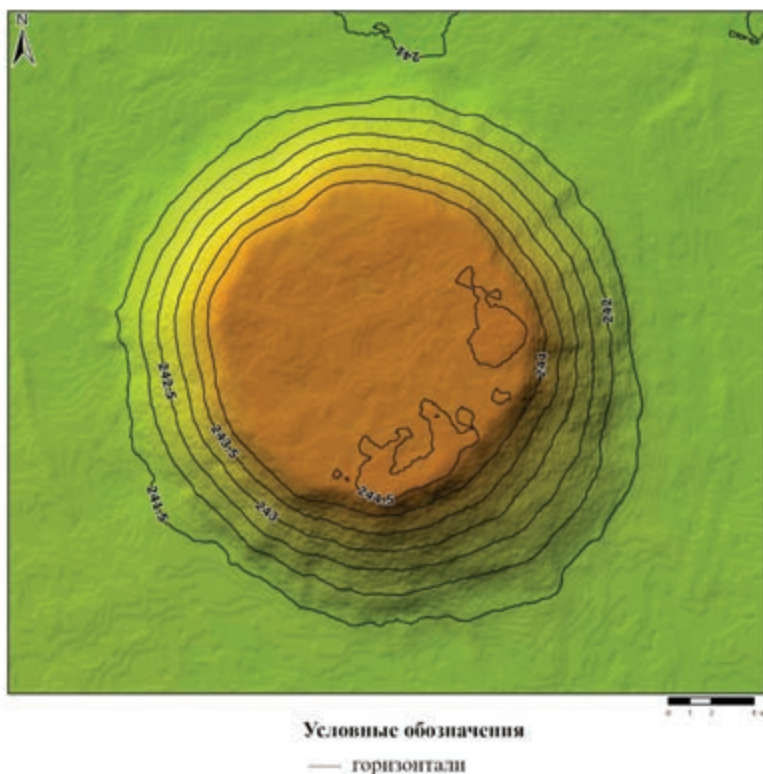


Рисунок 4.26. ЦМП объекта «Пандора»

В 2020 году, после завершения работ по усилению безопасности объектов на «Опытном поле», проведены обследования 4 охраняемых объектов, а также территории технических площадок. В базу данных внесены все аэрофотоматериалы, созданы паспорта объектов.

Исследования дали начальные данные о целостности состояния физических барьеров объектов и систем их защиты.

Дальнейшие исследования будут проведены через год с проведением сравнительного анализа с предыдущим годом. Все данные так же будут занесены в базу данных ГИС, а паспортные данные объектов – обновлены и дополнены.

ГЛАВА 5. ЗНАКОВЫЕ ВИЗИТЫ В ПЕРИОД РАБОТ ПО УСИЛЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ

В рамках рабочей программы посещения стран Центральной Азии генеральный секретарь ООН Пан Ги Мун прибыл с визитом на «Опытное поле» 6 апреля 2010 года (Рисунок 5.1).



а) выступление генерального секретаря ООН Пан Ги Мун



б) Выступление генерального директора НЯЦ РК К. Кадыржанова

**Рисунок 5.1. Посещение генерального секретаря ООН
Пан Ги Муна «Опытного поля»**

В рамках работы международного форума «За безъядерный мир» 13 октября 2011 г. «Опытное поле» посетила делегация генерального секретаря МАГАТЭ Юкия Аmano и министра иностранных дел РК Казыханова Ержана (Рисунок 5.2).



а) Выступление генерального секретаря МАГАТЭ Ю. Аmano



б) Выступление министра иностранных дел РК Е. Казыханова

Рисунок 5.2. Посещение «Опытного поля» Юкия Аmano и Казыханова Ержана

В сентябре 2012 году объекты площадки «Опытное поле» с рабочим визитом посетила делегация во главе с бывшим директором Лос-Аламосской национальной лаборатории Зигфридом Хеккером (Рисунок 5.3).



Рисунок 5.3. Э. Батырбеков, З. Хеккер, и В. Дмитропавленко на объекте СИП

В 2017 году «Опытное поле» посетила делегация государственной корпорации «Росатом» (Россия) во главе с Куценко В.М. и генеральный директор АО «Казахстанские атомные электрические станции» Жантикин Т.М.



а) Сотрудники «Росатом» и НЯЦ



б) А. Осинцев, В. Куценко и Т. Жантикин

**Рисунок 5.4. Делегация «Росатом» и Жантикин Т.М.
на объектах «Опытного поля»**

В 2018 году в честь 25-летия совместных работ по обеспечению безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона проведен ряд совместных мероприятий.

17 октября 2018 года в городе Курчатов в Национальном ядерном центре РК состоялось торжественное заседание с участием представителей Посольства США в РК, а также руководителей и ведущих специалистов организаций АПУУ и DOE/NNSA. Заседание приурочено к юбилейной дате – 25 лет назад, 13 декабря 1993 года, Парламент Казахстана ратифицировал Договор о нераспространении ядерного оружия (ДНЯО) и в этот же день Президент Казахстана Нурсултан Абишевич Назарбаев и Вице-Президент Соединенных Штатов Америки Альберт Гор подписали Рамочное соглашение между Республикой Казахстан и США относительно уничтожения шахтных пусковых установок межконтинентальных баллистических ракет, ликвидации последствий аварийных ситуаций и предотвращения распространения ядерного оружия.



а) Э. Батырбеков и Э. Поуп на торжественном мероприятии в НЯЦ РК



б) Доклад М. Гибсона о совместных работах

Рисунок 5.5. Торжественное заседание в Национальном ядерном центре

В декабре 2018 г. проведена рабочая встреча в штаб квартире Агентства по уменьшению угрозы Министерства обороны США с участием директора агентства г-на В. Оксфорда, а также Чрезвычайного и Полномочного Посла Республики Казахстан в США, Атташе по обороне при Посольстве Республики Казахстан в США и делегации от НЯЦ РК во главе с генеральным директором Эрланом Батырбековым, где было

подчеркнуто, что Казахстан показал положительный пример действенного международного сотрудничества по снижению глобальной угрозы и укреплению режима нераспространения.



Рисунок 5.6. Штаб-квартира АПУУ Министерства обороны США. Подписание меморандума о сотрудничестве В. Оксфордом и Э. Батырбековым

В честь 25-летия совместной миссии по ядерному нераспространению в 2019 г. объекты СИП посетили посол США Уильям Мозер, доктор Роберт Поуп (директор программы совместного снижения угроз (CTR), Вейл Оксфорд), а также сотрудники АПУУ и посольства США в Казахстане (Рисунок 5.7).



а) Представители посольства США в Казахстане, министерства обороны США и НЯЦ РК в музее СИП



б) В. Оксфорд, Э. Батырбеков, У. Мозер и Э. Поуп на месте первого ядерного испытания СССР (техническая площадка П-1, «Опытное поле»)



в) Э. Поуп, Э. Батырбеков, У. Мозер и В. Оксфорд возле приборного сооружения

Рисунок 5.7. Рабочий визит представителей посольства США в Казахстане и министерства обороны США

В 2020 году объекты «Пандора» и «Олимп» с рабочим визитом посетила делегация Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) во главе с заместителем Генерального директора – директором Департамента гарантий МАГАТЭ Массимо Апаро (Рисунок 5.8). Представители МАГАТЭ высоко оценили результаты проведенных работ по приведению в безопасное состояние территории бывшего СИП.



а) М. Апаро на объекте «Пандора»



б) Делегация МАГАТЭ при осмотре объекта «Пандора»



**в) Делегация МАГАТЭ при осмотре объекта «Олимп»
Рисунок 5.8. Делегация МАГАТЭ на объекте**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Национальный ядерный центр Республики Казахстан, в рамках реализации международных договоров по обеспечению ядерной безопасности ратифицированных Республикой Казахстан, последовательно проводит ряд работ, направленных на ликвидацию инфраструктуры и последствий испытаний ядерного оружия на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона.

В 2012 году НЯЦ РК приступил к реализации данных работ на территории испытательной площадки «Опытное поле». Работы начались с детального обследования площадки, а также прилегающих к ней территорий. Это были самые масштабные исследования за всю деятельность Национального ядерного центра. Исследования проводились непрерывно зимой и летом, в жару и мороз, в течение 6 лет. В результате было проведено более 20 000 погонных километров пешеходной гамма-спектрометрической съемки, произведено порядка 3 000 000 спектрометрических измерений, пробурено более 750 исследовательских скважин, отобраны и проведены лабораторные исследования более 20 000 образцов.

Для проведения исследовательских работ были разработаны новые, уникальные методы выявления и оценки ОЯД. Были разработаны специальные программно-аппаратные комплексы, позволяющие как проводить масштабные спектрометрические исследования, так и автоматизировать процесс их последующей обработки. Использование имеющейся развитой научной базы НЯЦ РК позволило впервые в мире разработать методологию выявления и оценки ОЯД как на поверхности почвы, так и в приповерхностном слое. Все разработанные подходы и методы получили высокую оценку экспертов Лос-Аламосской лаборатории, которые тесно сотрудничали с экспертами НЯЦ РК на всем протяжении реализации работ.

Именно использование инновационных методов определения и оценки ОЯД позволили в кратчайшие сроки провести столь масштабные исследовательские работы и идентифицировать все места проведения ядерных испытаний и участки проведения различных экспери-

ментов, как на территории технических площадках, так и за их пределами. Исследования позволили получить точные данные о всех местах локализации ОЯД на территории испытательной площадки «Опытное поле».

Результаты исследований стали отправной точкой для разработки технических решений по обеспечению нераспространения выявленных ОЯД и легли в основу мероприятий для безопасного проведения всех этапов работ по снижению угрозы распространения ОМУ на «Опытном поле».

Для каждого выявленного объекта с ОЯД были определены свои, уникальные методы и технологии приведения его в безопасное состояние. Для повышения эффективности на большинстве объектов применялся комплекс различных методов.

Работы по обеспечению безопасности ряда выявленных объектов начались еще до окончания исследовательских работ и были полностью завершены в 2020 году. На ряде объектов была проведена их рекультивация путем снятия верхнего слоя почвы, содержащего высокие концентрации ОЯД с последующей переработкой по специально разработанной методике. Переработанные ОЯД были соответствующим образом упакованы и транспортированы на комплекс исследовательских реакторов «Байкал-1», где размещены на долговременное хранение в специально подготовленных хранилищах твердых радиоактивных отходов. Согласно выбранным критериям, на ряде участков, содержащих ОЯД, были проведены работы по рекультивации методом глубокой вспашки. Такой подход позволил снизить концентрацию ОЯД на данных участках до безопасного уровня.

Все ОЯД, размещенные на долговременное хранение, задекларированы и поставлены под гарантии МАГАТЭ.

На объектах, где из соображений безопасности персонала рекультивационные работы были невозможны, обеспечение безопасности было достигнуто посредством строительства специальных защитных сооружений (физических барьеров). Сооружение представляет собой железобетонную конструкцию, надежно укрывающую объект, содержащий ОЯД со всех сторон. Устройство конструкции позволяет полностью исключить несанкционированный доступ к объекту без приме-

нения промышленной техники, а с её применением обеспечить защиту объекта в течение длительного времени, достаточного для пресечения данной деятельности.

Анализ проведенных работ по программе «Снижения рисков распространения на СИП» показал, что абсолютно безопасными, по критериям угроз распространения и терроризма, многие объекты бывшего ядерного полигона не станут никогда, по крайней мере, в исторически обозримом будущем. Исходя из этого, создание только физических барьеров для данных объектов является недостаточным. Главным средством противодействия распространению особо опасных ядерных материалов была и остается надежная система, включающая физические барьеры и системы контроля несанкционированного доступа.

Для обеспечения дополнительной защиты, специалистами НЯЦ РК был проведен комплекс работ по созданию многоуровневых систем безопасности всех объектов, содержащих ОЯД на площадке «Опытное поле». Системы создавались по принципу многоуровневой, «глубоко эшелонированной защиты», с учетом предыдущего опыта создания и эксплуатации систем безопасности на других объектах СИП, в частности объекта «Дегелен».

В результате работ была создана трехуровневая система безопасности, включающая:

- Первый уровень – предупреждающий. По периметру площадки установлены специальные знаки с предупреждающими надписями.

- Второй уровень – сдерживающий. Установлены физические барьеры: ограждение, отвал грунта, ров, бетонные блоки, ворота.

- Третий уровень – обнаружение и нейтрализация, установлены технические средства обнаружения вторжения с выводом сигналов оператору сил охраны, средства видео оценки ситуации, устройства автономного электропитания и передачи данных, системы радиосвязи.

Все этапы работ, проведенные НЯЦ РК на территории площадки «Опытное поле», согласовывались и проводились совместно с представителями и экспертами АПУУ. Экспертами АПУУ согласовывались все реализуемые работы, от выбора методологий исследования, до проектных технических решений по сооружению защитных сооружений. Выполненные работы получили высокую оценку не только экспертов

АПУУ, но и экспертов МАГАТЭ, а также специалистов Госкорпорации «Росатом» (РФ), которые имели возможность посетить объекты работ на «Опытном поле».

Таким образом, в настоящее время все объекты, содержащие ОЯД и расположенные на территории площадки «Опытное поле, приведены в безопасное состояние, надежно охраняются и не представляют угрозы.

Казахстан в очередной раз показал положительный пример действенного международного сотрудничества по снижению глобальной угрозы и укреплению режима нераспространения

Авторы благодарят сотрудников Национального ядерного центра Республики Казахстан за помощь и поддержку при подготовке материалов монографии: Нефедова Р.А., Перепёлкина И.Г. и Перепёлкина А.И., Смаил Р., Ерёменко Е.А., Иванова Е.В., Бакланову Ю.В., Кривицкого П.Е., Божко В.В, Хотынец А.В.

УСИЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ
НА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»
СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Авторы-составители:
Батырбеков Э. Г., Березин С. А.,
Айдарханов А. О., Осинцев А. Ю.,
Мустафина Е. В.

Верстка: Горшкова Т.А.
Корректор: Бакирова А.М.

Формат 60/90 1/8.
Печать офсетная. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 33.
Заказ №1222. Тираж 500.

Национальный ядерный центр Республики Казахстан
г. Курчатов, ул. Бейбіт атом, 2Б

Отпечатано в ТОО «Надежда 2050»
г. Кокшетау, ул. Баймуканова, 3



В монографии представлен комплекс исследовательских и инженерно-технических работ по усилению безопасности на испытательной площадке «Опытное поле» Семипалатинского испытательного полигона. Данные работы позволили впервые в истории изучения территории полигона наиболее полно и комплексно исследовать территорию отдельной испытательной площадки. Масштаб работ по приведению в безопасное состояние объектов на площадке «Опытное поле» превышает объем отдельных видов работ, проведенных ранее на любых других площадках полигона.

Впервые были проведены работы по изъятию грунта, содержащего отходы ядерной деятельности, его переработки и размещению на долговременное хранение в специально подготовленных хранилищах твердых радиоактивных отходов. На объектах, где из соображений безопасности персонала рекультивационные работы были невозможны, обеспечение безопасности было достигнуто посредством строительства специальных защитных сооружений. Для обеспечения дополнительной защиты, специалистами НЯЦ РК был проведен комплекс работ по созданию многоуровневых систем безопасности на площадке «Опытное поле». Таким образом, в настоящее время территория площадки «Опытное поле» приведена в безопасное состояние, надежно охраняется и не представляет угрозы.

УСИЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ
на испытательной площадке «Опытное поле»
Семипалатинского испытательного полигона

Батырбеков Э. Г., Березин С. А.,
Айдарханов А. О., Осинцев А. Ю.,
Мустафина Е. В.



Курчатов, 2021



Батырбеков Э. Г., Березин С. А.,
Айдарханов А. О., Осинцев А. Ю., Мустафина Е. В.

УСИЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ
на испытательной площадке «Опытное поле»
Семипалатинского испытательного полигона

