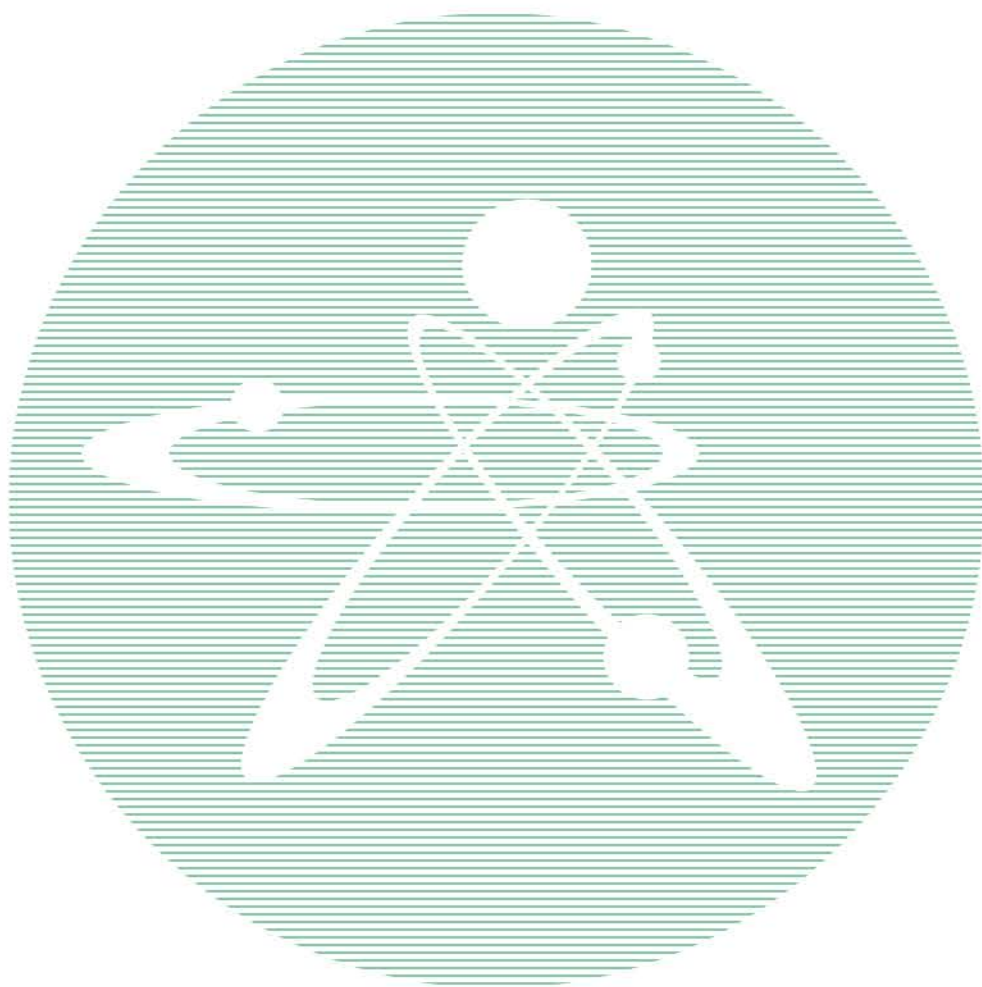


2013
ВЫПУСК 4

ISSN 1729-7516

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ Вестник



ISSN 1729-7516

Вестник НЯЦ РК

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ВЫПУСК 4(56), ДЕКАБРЬ 2013

Издается с января 2000 г.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – д.ф.-м.н. БАТЫРБЕКОВ Э.Г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: д.ф.-м.н. ЖОТАБАЕВ Ж.Р. – заместитель главного редактора,
д.т.н. БАТЫРБЕКОВ Г.А., БЕЛЯШОВА Н.Н., к.ф.-м.н. ВОЛКОВА Т.В., к.б.н. КАДЫРОВА Н.Ж.,
д.ф.-м.н. КАДЫРЖАНОВ К.К., к.ф.-м.н. КЕНЖИН Е.А., к.ф.-м.н. КОЗТАЕВА У.П., д.ф.-м.н. КОПНИЧЕВ
Ю.Ф., д.г.-м.н. КРАСНОПЕРОВ В.А., ЛУКАШЕНКО С.Н., д.ф.-м.н. МИХАЙЛОВА Н.Н.,
д.г.-м.н. НУРМАГАМБЕТОВ А.Н., д.б.н. ПАНИН М.С., к.г.-м.н. ПОДГОРНАЯ Л.Е.,
д.т.н. САТОВ М.Ж., д.ф.-м.н. СКАКОВ М.К., д.ф.-м.н. СОЛОДУХИН В.П.

ҚР ҰЯО Жаршысы

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНЫҢ
МЕРЗІМДІК ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛЫ

4(56) ШЫҒАРЫМ, ЖЕЛТОҚСАН, 2013 ЖЫЛ

NNC RK Bulletin

RESEARCH AND TECHNOLOGY REVIEW
NATIONAL NUCLEAR CENTER OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ISSUE 4(56), DECEMBER 2013

Периодический научно-технический журнал «Вестник НЯЦ РК», решением Комитета по надзору и аттестации в сфере науки и образования включен в перечень изданий, рекомендованных для публикации материалов:

- по физико-математическим наукам,
- по специальности 25.00.00 – науки о Земле.

В журнале представлены доклады XII ежегодной конференции-конкурсе НИОКР молодых ученых и специалистов РГП НЯЦ РК (15–17 мая 2013 г., Курчатов, Казахстан).

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОДГОТОВКИ ПРОБ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИЗКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ РАДИОНУКЛИДОВ ^{241}Am И ^{152}Eu В ВОДЕ	
Айдарханова А.К., Лукашенко С.Н.	4
ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ СЧЕТНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ α-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ	
Кириллов В.Д., Кириллова Т.Г., Сальменбаев С.Е., Шатров А.Н.	11
К ВОПРОСУ О ВАРИАТИВНОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В РАСТЕНИЕВОДЧЕСКУЮ ПРОДУКЦИЮ ПРИ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВЕ НА ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ» ТЕРРИТОРИИ СИП	
Кожанов Т.Е., Лукашенко С.Н., Кундузбаева А.Е., Магашева Р.Ю.	16
СОДЕРЖАНИЕ ТРИТИЯ В РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ РЕКИ ШАГАН	
Ларионова Н.В., Лукашенко С.Н., Ляхова О.Н., Айдарханов А.О., Янкаускас А.Б.	28
ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ «ДЕГЕЛЕН»	
Магашева Р.Ю., Султанова Б.М., Паницкий А.В.	32
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССОВ ГАЗИФИКАЦИИ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПЯВ	
Романенко В.В., Субботин С.Б., Чернова Л.В.	43
ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОНОСНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ ОТЖИГА КЕРНА	
Романенко В.В., Субботин С.Б.	51
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА НА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ» ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ	
Турченко Д.В., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О., Паницкий А.В.	59
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРИТИЯ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ КАК ИНДИКАТОРА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ	
Турченко Д.В., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О., Ляхова О.Н.	66
СОВРЕМЕННОЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ СИП «САРЫ-УЗЕНЬ»	
Субботин С.Б., Стрильчук Ю.Г., Новикова Е.А., Романенко В.В., Пестов Е.Ю., Бахтин Л.В.	72
ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ И МЕХАНИЗМОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ ВОД РЕКИ ШАГАН (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ 2011–2012 ГГ.)	
Субботин С.Б., Романенко В.В., Новикова Е.А., Бахтин Л.В.	81
ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ БЛОКОВ ПЯВ ПО ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ (НА ПРИМЕРЕ БЛОКА СКВАЖИНЫ 1220)	
Кабайлов А.Н., Шайторов В.Н.	90
ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ПУТЕЙ МИГРАЦИИ ТРИТИЯ В БАССЕЙН РЕКИ ШАГАН	
Комлев А.В., Зеленский К.Л., Кокежанов Б.А., Кириллов А.В.	96
К ПРОВЕДЕНИЮ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ДНЕВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА СИП	
Яковенко А.М., Богатырев А.О.	102
СПИСОК АВТОРОВ	107

УДК 504.4.054:541.28:539.16

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОДГОТОВКИ ПРОБ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИЗКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ РАДИОНУКЛИДОВ ^{241}Am И ^{152}Eu В ВОДЕ

Айдарханова А.К., Лукашенко С.Н.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В данной статье представлена разработка методики подготовки проб к определению малых концентраций ^{241}Am и ^{152}Eu в пробах воды. Для определения малых концентраций исследуемых радионуклидов был выбран метод концентрирования из больших объемов проб воды 100 л путем соосаждения с солями – соосаждителями. В качестве соли – соосаждителя использован гидроксид железа (III) в количестве 0,28 г Fe^{3+} на 1 л пробы. Определены основные условия проведения процессов: pH раствора равный 9; время, необходимое для наиболее полного осаждения, равное 8 часам.

Эффективность методики доказана на модельных растворах и при использовании другого метода концентрирования.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно многочисленным радиоэкологическим исследованиям, проведенным на территории Семипалатинского испытательного полигона, территория основных испытательных площадок загрязнена техногенными радионуклидами, в том числе ^{241}Am и ^{152}Eu [1, 2]. В связи с этим существует возможность перехода данных радионуклидов из грунта в природные воды. Тем не менее, в природной воде количественные значения данных радионуклидов не зафиксировано.

Переход радионуклидов ^{241}Am и ^{152}Eu из грунта в природные воды описать довольно сложно ввиду многофакторности процессов перехода связанных с вымыванием радионуклидов из грунта. Следовательно, трудно оценить масштабы загрязнения природных вод и возможность распространения, как за пределы площадок, так и за пределы полигона.

На данный момент определение содержания ^{241}Am и ^{152}Eu в пробах воды проводится прямой гамма-спектрометрией с высокой разрешающей способностью. Тем не менее, прямые гамма-спектрометрические измерения не применимы для обнаружения низких уровней ^{241}Am и ^{152}Eu , предел обнаружения для ^{241}Am составляет 3 Бк/обр, для ^{152}Eu – 4 Бк/обр.

Определение возможно благодаря концентрированию образцов из больших объемов, которое позволит увеличить чувствительность метода. Для концентрирования и выделения радионуклидов ^{241}Am и ^{152}Eu широкое применение нашли методы соосаждения, ионного обмена, экстракции и экстракционной хроматографии. Методы соосаждения радионуклидов с солями – соосаждителями имеют ряд существенных преимуществ перед другими методами концентрирования радионуклидов. Главные достоинства этих методов – высокая скорость проведения процессов, возможность концентрирования практически из любых объемов пробы, простота и экономичность. [3]

Целью настоящей работы явился выбор и обоснование оптимальных условий концентрирования

^{241}Am и ^{152}Eu из воды методом соосаждения для их последующего определения на уровне менее 0,1 Бк/л.

Основные задачи исследований состояли в подборе наиболее эффективных солей – соосаждителей и их количества для соосаждения исследуемых радионуклидов и определения оптимальных условий протекания процесса: уровень pH раствора, время, необходимое для полного соосаждения, влияние солевого состава природных вод на процесс соосаждения.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Исходя из химических свойств соединений лантаноидов и актиноидов, изотопы этих элементов хорошо соосаждаются с оксалатами, фосфатами, карбонатами, фторидами щелочноземельных металлов, а также с неорганическими солями и гидроокисями железа, висмута, ферроцианидами [4, 5].

Фосфат висмута был первым соосаждителем, примененным в больших масштабах при переработке отработанного топлива [6]. Соосаждение с фосфатом висмута удобно применять при анализе растворов, содержащие большие количества кальция, магния, алюминия. Соосаждение проводят из азотнокислых растворов при повышенной температуре: амриций и кюриций выделяются из 0,15 М раствора азотной кислоты при 80 °С. Осаждение проводится при добавлении 0,09 М раствора ортофосфорной кислоты к раствору, содержащему 60 мг висмута и 500 мг гидроксиламина солянокислого. Осадок фосфатов растворяется 4-6М HCl [7]. Однако этот метод не всегда достаточно эффективен при концентрировании микроколичеств радионуклидов и длителен по времени.

Соосаждение с фторидом лантана используется на первых стадиях выделения и очистки Am и других транслютоновых элементов при их выделении в технологическом процессе и в химическом анализе. Соосаждение проводится в присутствии нитрата лантана из кислых растворов при прибавлении HF. [8, 9]

Также, в литературе [10, 11] описывается методика соосаждения с оксалатом кальция. Соосаждение проводится из кислого раствора при температуре 60–80 °С насыщенным раствором щавелевой кислоты или оксалата аммония. Для наиболее полного осаждения и получения крупнокристаллического осадка оксалата кальция необходимо строго соблюдать температурный режим. Это в наших условиях неприемлемо, так как для анализа используется проба большого объема.

Таким образом, большинство методик по соосаждению ^{241}Am и ^{152}Eu предназначены для отделения исследуемых радионуклидов от макроколичеств нерадиоактивных и радиоактивных примесей при их получении, а также для переработки отработанного ядерного топлива.

Следует отметить, что немаловажную роль играют и форма нахождения радионуклидов ^{241}Am и ^{152}Eu в природных водах. Основным транспортным агентом миграции транслютоновых элементов (в том числе ^{241}Am и ^{152}Eu) является водная среда – поверхностные и подземные воды, содержащие мелкодисперсные коллоидные частицы различного происхождения. Химический состав, структура и размер коллоидных частиц в значительной степени зависят от геохимической природы исследуемой системы. Частицы представляют собой неорганические или органические молекулярные соединения, их смесь, а также микроорганизмы. Коллоидные частицы имеют химически активную поверхность и способны сорбировать из грунтовой воды склонные к гидролизу америций и европий с образованием псевдоколлоидов. Поглощение радионуклидов коллоидными частицами может происходить в результате сорбции по ионообменному механизму или с образованием поверхностных комплексов. Среди лигандов, обычно присутствующих в водных растворах, наибольший интерес в этой связи представляют ионы OH^- , CO_3^{2-} и гуминовые вещества из-за их склонности к образованию с трансурановыми элементами комплексных соединений. Как было установлено [12], в растворе природной воды содержатся: $\text{Am}(\text{OH})_2^+$, $\text{Am}(\text{OH})^{2+}$, Am^{3+} , $\text{Am}(\text{CO}_3)^+$, $\text{Am}(\text{CO}_3)^{2-}$, а также в грунтовой воде существуют комплексы следующих составов: $\text{AmOH}(\text{CO}_3)^{2-}$, $\text{AmOH}(\text{CO}_3)_3^{4-}$.

При проведении исследований наличие коллоидного или псевдоколлоидного состояния радионуклидов крайне нежелательно. Для перевода из коллоидной формы в ионную или молекулярную существует несколько приемов один из которых увеличение кислотности раствора. С этой целью необходимо после отбора и фильтрации проб проводить консервацию добавлением концентрированной азотной кислоты до $\text{pH} = 2-3$.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В настоящей работе были проведены практические исследования с использованием модельных растворов с известными активностями ^{241}Am и ^{152}Eu .

Для приготовления модельных растворов была получена кислотная вытяжка из активной пробы грунта, в которой активность (А) (^{241}Am)= $n \times 10^5$ Бк/кг, А (^{152}Eu)= $n \times 10^3$ Бк/кг. А (^{241}Am) в кислотной вытяжке составила 20200 ± 70 Бк/л, А (^{152}Eu)= 460 ± 10 Бк/л. По данным микроэлементного анализа содержание элементов в кислотной вытяжке составило: Fe – 3,2 г/л, Са – 6,6 г/л, Al – 1,4 г/л, Cu – 4,6 мг/л, Mn – 73 мг/л, Zn – 10 мг/л.

Затем кислотную вытяжку разбавили в 10 раз. Для проведения всех экспериментов были использованы модельные растворы, приготовленные из 10 л дистиллированной воды с внесением 2 мл разбавленного раствора кислотной вытяжки.

2.1. Предварительный выбор солей – соосаждителей

Для проведения экспериментов по подбору солей-соосаждителей были выбраны следующие соединения, образующие нерастворимые и малорастворимые соли [13], анионы которых с Am и Eu также образуют нерастворимые и малорастворимые соли:

- для соосаждения с оксалатом кальция в модельный раствор добавлялись хлорид кальция в расчете 1,5 г на 1 л раствора и насыщенный раствор щавелевой кислоты до установления $\text{pH}=5$;
- для соосаждения с гексацианоферратом меди модельный раствор нейтрализовался до pH равный 7 и вносился «коктейль». Для приготовления «коктейля» использовались 30 мл дистиллированной воды подкисленной 3–4 каплями 3 М азотной кислоты, 8 мл 0,25 М раствора гексацианоферрата (II) калия и 10 мл 0,5 М раствора сульфата меди. Полученная суспензия перемешивалась 1 минуту, отстаивалась в течение 10 минут, затем снова перемешивалась еще 20 секунд и при перемешивании вносилась в модельный раствор;
- для соосаждения с фторидом кальция в модельный раствор добавлялись хлорид кальция в расчете 1,5 г на 1 л раствора и 20% раствор фторида аммония до $\text{pH}=2$;
- для соосаждения с гидроксидом железа (III) в модельный раствор добавлялся 20% раствор хлорида железа в расчете 10 мл на 1 л раствора и 20% раствор гидроксида натрия до $\text{pH}=7$;
- для соосаждения с карбонатом кальция в модельный раствор добавлялся хлорид кальция в расчете 1,5 г на 1 л раствора и 20% раствор карбоната натрия до $\text{pH}=9$.

Полученные растворы перемешивались в течение 30 минут и выдерживались в течение 12 часов для созревания осадка. Далее надосадочная жидкость декантировалась, осадок отфильтровывался через фильтр «Синяя лента», высушивался при температуре 50 °С и передавался на измерение удельной активности радионуклидов. Декантат и фильтрат объединялись и также передавались на гамма-спектрометрические измерения.

Эксперименты с каждым видом солей – соосаждителей дублировались. Результаты экспериментальных исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты применения различных видов соосаждителей для осаждения ^{241}Am и ^{152}Eu

Соединение, применяемое в качестве соосаждителя	pH раствора	Степень осаждения, %	
		^{241}Am	^{152}Eu
CaC_2O_4	5	60 ± 5	50 ± 5
$\text{Cu}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	7	12 ± 1	8 ± 1
CaF_2	2	25 ± 3	33 ± 3
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	7	90 ± 10	85 ± 9
CaCO_3	9	28 ± 3	20 ± 2

Из вышеприведенных данных следует, что ионы ^{241}Am и ^{152}Eu наиболее полно соосаждаются с гидроксидом железа (III), 90% и 85% соответственно. Наименее эффективно происходит соосаждение с ферроцианидом меди: 12% и 8% соответственно. На основании полученных данных соосаждение с гидроксидом железа (III) было выбрано в качестве приоритетного направления для проведения дальнейших экспериментов.

Далее были определены оптимальные условия проведения процессов, в частности, количество соосаждителя, pH раствора, время, необходимое для наиболее полного осаждения, влияние минерализации и солевого состава исследуемой воды.

2.2. Исследование зависимости полноты осаждения от количества соосаждителя

Для исследования полноты осаждения в зависимости от количества соосаждителя была проведена серия опытов с добавлением в модельный раствор различного количества раствора хлорида железа (III). С этой целью в модельные растворы вносился раствор хлорида железа (III) с $T(\text{Fe}^{3+}) = 140$ мг/мл объемом 0,5 мл, 1 мл, 2 мл, 5 мл, 10 мл, 20 мл, 50 мл и 100 мл. Осаждение проводилось 20% раствором гидроксида натрия до установления pH раствора, равного 9.

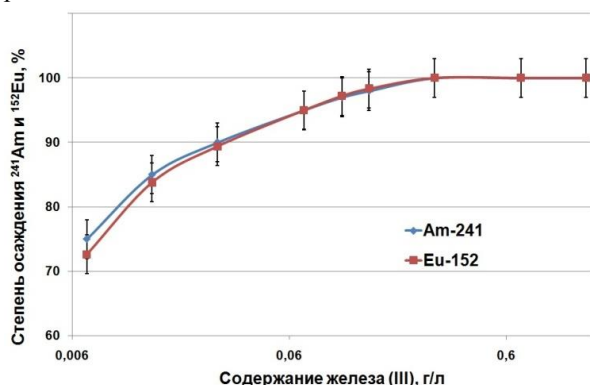


Рисунок 1 – Результаты осаждения ^{241}Am и ^{152}Eu при внесении различного количества соосаждителя в пересчете на Fe^{3+}

Раствор перемешивался в течение 30 минут, выдерживался в течение 12 часов для созревания. Далее, надосадочная жидкость декантировалась, осадок отфильтровывался через фильтр «Синяя лента», высушивался при температуре 50°C и передавался на измерение удельной активности радионуклидов. Декантат и фильтрат объединялись и также передавались на гамма-спектрометрические измерения. Результаты измерений представлены на рисунке 1.

При данных условиях (pH=9) полное осаждение ^{241}Am и ^{152}Eu на осадке гидроксида железа (III) наступает лишь при внесении 0,28 г Fe^{3+} в расчете на 1 л раствора. При внесении меньшего количества Fe^{3+} осаждение ^{241}Am и ^{152}Eu не полное. Увеличение количества вносимого Fe^{3+} на процесс соосаждения не влияет. При этом наблюдается схожий характер поведения ^{241}Am и ^{152}Eu при проведении процесса осаждения с гидроксидом железа (III).

2.3. Исследования влияния pH раствора на соосаждение ^{241}Am и ^{152}Eu

Помимо концентрации соосаждителя на величину осаждения интересующих нас изотопов влияет ряд факторов, неучтенных до этого момента. В частности, большую роль играет уровень pH раствора. Полнота осаждения при различных концентрациях соосаждителя в растворе была изучена при различных значениях pH. Для этого были проведены 6 серий по 5 опытов. Для каждой серии в модельные растворы было добавлено различное количество раствора хлорида железа (III) с $T(\text{Fe}^{3+}) = 140$ мг/мл. В каждой серии проводилось осаждение хлорида железа (III) при различных уровнях pH, которые регулировались постепенным увеличением количества 20% раствора гидроксида натрия. Подготовка к измерениям проводилась аналогично п. 1.2. Результаты опытов представлены на рисунке 2.

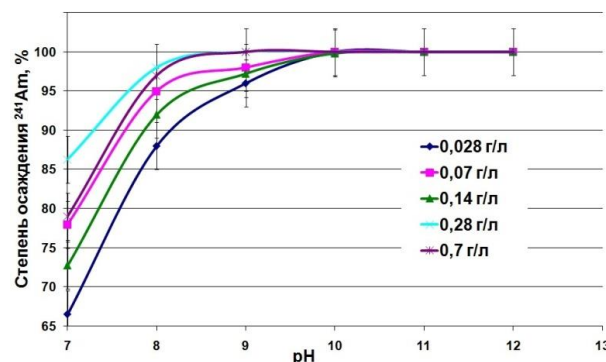


Рисунок 2 – Зависимость химического выхода ^{241}Am от pH среды при различном содержании Fe^{3+} в соосаждителе

По результатам экспериментов можно сделать вывод, что с увеличением концентрации железа и с увеличением pH раствора осаждение улучшается. Оптимальными условиями для соосаждения ^{241}Am являются внесение 0,28 г Fe^{3+} в расчете на 1 л раствора, а pH среды равно 9. При меньших значениях pH осаждение ^{241}Am неполное. Увеличение pH при-

ведет к осаждению большого количества элементов, таких как щелочноземельные металлы, которые в макроколичествах присутствуют в природных водах. Данный факт приведет к увеличению объема самого осадка, затруднению процесса фильтрации и измерения полученного образца.

2.4. Исследование полноты осаждения в зависимости от времени созревания осадка

Для определения времени, необходимого для полного соосаждения ^{241}Am и ^{152}Eu , были проведены эксперименты, во время которых ^{241}Am и ^{152}Eu соосаждались с гидроксидом железа (III), полученного аналогично предыдущим опытам. С этой целью в модельный раствор вносилось 0,28 г Fe^{3+} в расчете на 1 л раствора и 20% раствор гидроксида натрия до установления уровня $\text{pH}=9$. Раствор с осадком тщательно перемешивался и отфильтровывался: первый – сразу же после осаждения, а последующие – через 1, 2, 5, 8 и 16 часов после осаждения. Осадки высушивались при температуре 50 °С и передавались на гамма-спектрометрические измерения. Фильтрат также передавался на гамма-спектрометрические измерения. Результаты экспериментов представлены на рисунке 3.

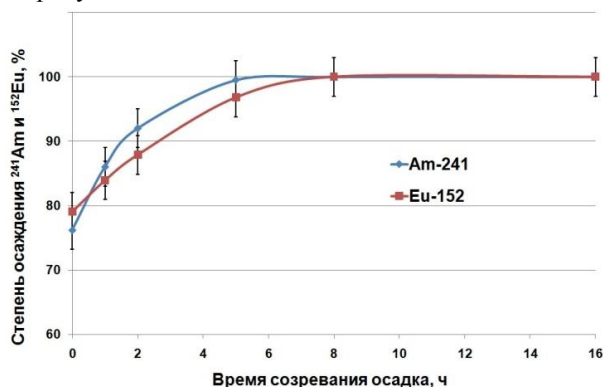


Рисунок 3 – Зависимость химического выхода ^{241}Am и ^{152}Eu от времени созревания осадка

Таким образом, наиболее эффективным временем для созревания осадка является время равное 8 часам. При уменьшении времени созревания осадка степень осаждения радионуклидов ^{241}Am и ^{152}Eu уменьшается. Увеличение времени созревания осадка в растворе не влияет на полноту осаждения.

2.5. Оценка влияния химического состава природных вод на процесс соосаждения ^{241}Am и ^{152}Eu

Химический состав природных вод представляет собой сложный комплекс растворенных минеральных и органических веществ в ионном, молекулярном, комплексном и коллоидном состояниях. Следовательно, необходимо определить влияние химического состава природных вод на процессы соосаждения ^{241}Am и ^{152}Eu .

Для определения влияния минерального состава природных вод были проведены 3 серии опытов по

соосаждению ^{241}Am и ^{152}Eu в присутствии различных видов катионов и анионов и их количества. Для первой серии модельных растворов использовался хлорид кальция, для второй – сульфат магния, для третьей – карбонат натрия. Данные соединения обычно в макроколичествах содержатся в природных водах. При каждой серии опытов в модельный раствор добавлялось определенное количество соли. Затем проводилось соосаждение ^{241}Am и ^{152}Eu с гидроокисью железа (III), полученного аналогично предыдущим опытам добавлением в модельные растворы 0,28 г Fe^{3+} в расчете на 1 л раствора и 20% раствор гидроксида натрия до установления уровня $\text{pH}=9$. Раствор с осадком перемешивался в течение 30 минут и выдерживался в течение 8 часов. Затем декантировалась надосадочная жидкость, осадок отфильтровывался, высушивался при температуре 50 °С и передавался на измерения удельной активности. Декантат и фильтрат объединялись и также передавались на гамма-спектрометрические измерения. Результаты эксперимента представлены на рисунке 4.

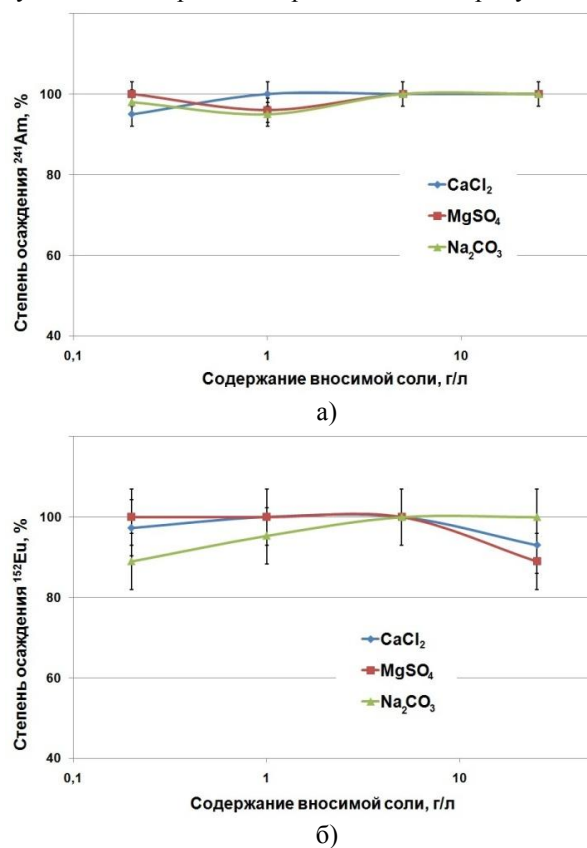


Рисунок 5 – Зависимость химического выхода ^{241}Am (а) и ^{152}Eu (б) от присутствия различных солей и их количества

Исходя из результатов исследований видно, что присутствие в растворе минеральных солей не оказывает существенного влияния на степень соосаждения изотопов ^{241}Am и ^{152}Eu , отклонения в результатах измерения находятся в пределах погрешностей.

С целью определения влияния органической составляющей природных вод на процесс соосаждения ^{241}Am и ^{152}Eu был проведен эксперимент в присутствии гумата. Гумат – это сложная смесь природных органических соединений, образующихся при разложении отмерших растений и их гумификации, т.е. биохимическом превращении продуктов разложения органических остатков в гумус при участии микроорганизмов, влаги и кислорода атмосферы. В качестве гумата был использован коммерческий продукт «Гумат», производимый согласно ТУ 2387-СО7-32997408-02, в составе которого не менее 40 % гуминовых кислот. Из гумата был приготовлен раствор с $T=2$ г/л. В модельные растворы данный раствор добавлялся в количестве, соответствующем 0,02 г, 0,1 г и 0,5 г вносимого реагента. Затем проводилось соосаждение ^{241}Am и ^{152}Eu с гидроксидом железа (III), полученного аналогично предыдущим опытом добавлением в модельные растворы 0,28 г Fe^{3+} в расчете на 1 л раствора и 20% раствора гидроксида натрия до установления уровня $\text{pH}=9$. Раствор с осадком перемешивался в течение 30 минут и выдерживался в течение 8 часов. Затем декантировалась надосадочная жидкость, осадок отфильтровывался, высушивался и передавался на измерения удельной активности. Декантат и фильтрат объединялись и также передавались на гамма-спектрометрические измерения. Результаты эксперимента представлены на рисунке 5.

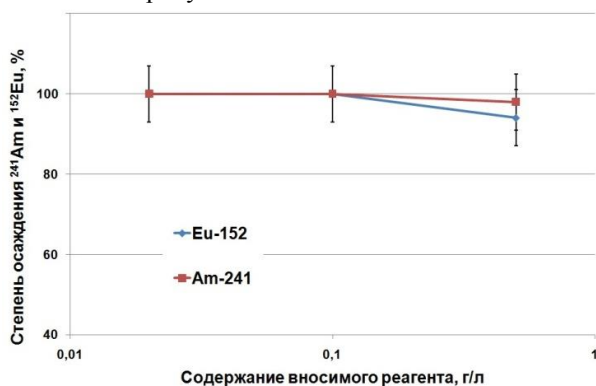


Рисунок 5 – Зависимость химического выхода ^{241}Am и ^{152}Eu от количества органической составляющей природных вод

По результатам измерений видно, что лишь значительное количество органической составляющей влияет на степень соосаждения изотопов ^{241}Am и ^{152}Eu . При добавлении в модельный раствор 0,5 г реагента гумата 2% ^{241}Am и 6 % ^{152}Eu остается в растворе. Но такое высокое содержание органической составляющей характерно только для природных вод такой местности, основными видами почв которой являются торф, бурый уголь, сапропели. Такие виды почв не характерны для территории СИП. Следовательно, данный факт не окажет влияния при

проведении процессов осаждения ^{241}Am и ^{152}Eu при анализе природных вод.

3. АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ И ОЦЕНКА ПРЕДЕЛА ОБНАРУЖЕНИЯ

На основе проведенных экспериментов была построена принципиальная схема проведения процесса концентрирования изотопов ^{241}Am и ^{152}Eu из проб больших объемов, представленная на рисунке 6.

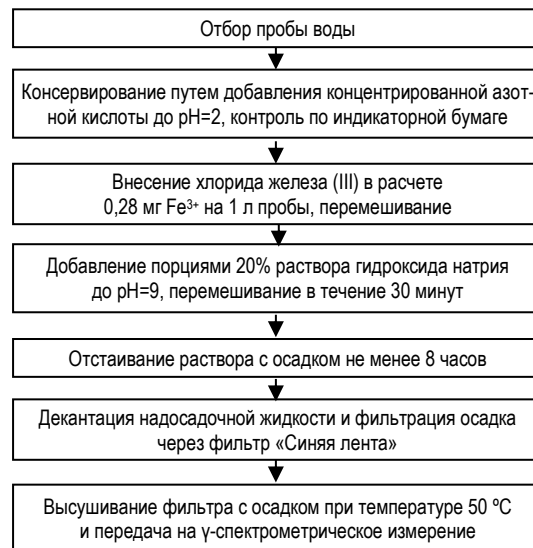


Рисунок 6 – Схема проведения анализа

На основе разработанной схемы можно провести теоретическую оценку предела обнаружения изотопов ^{241}Am и ^{152}Eu после проведения процесса концентрирования. Так как при прямых гамма-спектрометрических измерениях предел обнаружения для ^{241}Am составляет 3 Бк/обр, для ^{152}Eu – 4 Бк/обр, то при концентрировании проб объемом 100 л предел обнаружения должен составить для ^{241}Am – 0,002 Бк/л, для ^{152}Eu – 0,004 Бк/л.

Эффективность соосаждения изотопов ^{241}Am и ^{152}Eu с гидроксидом железа (III) была многократно подтверждена на ряде модельных растворов с известной активностью данных радионуклидов (таблица 2). Осаждение проводилось из растворов объемом 100 литров, которые были равномерно разделены на 10 частей в емкости по 10 л. Концентрирование проводилось согласно разработанной методики по схеме, представленной на рисунке 6. После высушивания фильтры с осадками объединялись с 10 емкостей в один образец, который передавался на измерение удельной активности изотопов ^{241}Am и ^{152}Eu . Фильтраты после отделения осадка объединялись с декантатами, отбиралась проба раствора, который также подвергался измерению удельной активности. Значения удельной активности ^{241}Am и ^{152}Eu в объединенном растворе фильтратов и декантатов находятся ниже предела обнаружения используемой методики, а именно $<0,04$ Бк/л.

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОДГОТОВКИ ПРОБ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
НИЗКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ РАДИОНУКЛИДОВ ^{241}Am И ^{152}Eu В ВОДЕ**

*Таблица 2 – Результаты изучения степени соосаждения ^{241}Am и ^{152}Eu с гидроксидом железа (III),
при оптимальных условиях проведения процесса*

№ раствора	Удельная активность ²⁴¹ Am в растворе до осаждения, Бк/л	Удельная активность ²⁴¹ Am в осадке, Бк/л	Степень осаждения ²⁴¹ Am, %	Удельная активность ¹⁵² Eu в растворе до осаждения, Бк/л	Удельная активность ¹⁵² Eu в осадке, Бк/л	Степень осаждения ¹⁵² Eu, %
1	40±4	40±4	100	0,9±0,1	0,9±0,1	100
2	40±4	36±4	90	0,9±0,1	0,8±0,1	89
3	40±4	39±4	97,5	0,9±0,1	0,9±0,1	100
4	40±4	39±4	97,5	0,9±0,1	0,8±0,1	89
5	40±4	38±4	95	0,9±0,1	0,7±0,1	78
6	40±4	39±4	97,5	0,9±0,1	0,9±0,1	100
Среднее значение:			96	Среднее значение:		93

Из представленных в таблице данных видно, что химический выход составляет 96% для ^{241}Am и 93% для ^{152}Eu .

Данная методика была успешно применена на ряде проб, отобранных на различных водоемностях Семипалатинского испытательного полигона (шт. 177 пл. «Дегелен», р. Шаган). Каждая проба отбиралась объемом не менее 100 литров. Пробоподготовка проводилась аналогично указанной выше схеме. Результаты анализа представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты определения ^{241}Am и ^{152}Eu в пробах воды

№	Точка отбора	Удельная активность, Бк/л (метод осаждения)		Удельная активность, Бк/л (метод выпаривания)	
		^{241}Am	^{152}Eu	^{241}Am	^{152}Eu
1	Шт. 177	$(6,2\pm0,6)\cdot10^{-2}$	$(5,4\pm0,3)\cdot10^{-2}$	$(6,5\pm0,5)\cdot10^{-2}$	$(5,8\pm0,3)\cdot10^{-2}$
2	р. Шаган	$(5,4\pm0,4)\cdot10^{-2}$	$(4,8\pm0,3)\cdot10^{-2}$	$(5,6\pm0,4)\cdot10^{-2}$	$(4,2\pm0,3)\cdot10^{-2}$

Результаты, полученные при концентрировании проб методом соосаждения, были подтверждены данными, полученными при концентрировании проб методом выпаривания. Также нужно отметить, что

концентрирование 1 пробы методом соосаждения занимает 40 часов, методом выпаривания – 170 часов, что говорит о преимуществе применения метода соосаждения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика подготовки проб для определения низких концентраций ^{241}Am и ^{152}Eu в воде. Концентрирование изотопов ^{241}Am и ^{152}Eu путём соосаждения наиболее эффективен при использовании гидроксида железа (III) в качестве соосадителя в расчете 0,28 г Fe^{3+} на 1 л пробы. Оптимальные условия проведения процесса соосаждения: уровень pH раствора равный 9; время, необходимое для полного соосаждения – 8 часов.

При определении радионуклидов ^{241}Am и ^{152}Eu в пробах воды по разработанной методике достигается предел обнаружения равный для ^{241}Am – 0,002 Бк/л, для ^{152}Eu – 0,004 Бк/л.

Таким образом, разработанную методику можно использовать для совершенствования технологии подготовки проб при изучении радиоактивного загрязнения природных вод.

ЛИТЕРАТУРА

- Мошков А.С. Характер и уровни радионуклидного загрязнения площадки «Опытное поле» СИП / А.С. Мошков, С.Н. Лукашенко, Ю.Ю. Яковенко // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2010 г.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Павлодар: Дом печати, 2011. – Т.1. – Вып. 3. – С. 13–80. : ил. – ISBN 978-601-7112-32-5.
- Каширский В.В. Исследование отношений активности ^{241}Pu и ^{241}Am в почве основных испытательных площадок СИП / В.В. Каширский, С.Н. Лукашенко // Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и перспективы развития: тезисы докладов IV междунар. научно-практической конф., 25-27 августа. – Павлодар: Дом печати, 2010. – С. 64-65.
- Москвин Л.Н. Методы разделения и концентрирования в аналитической химии / Л.Н. Москвин, О.В. Родинков. – Долгопрудный: Интеллект, 2011. – 352 с.
- Мясоедов Б.Ф. Аналитическая химия трансплутониевых элементов / Б.Ф. Мясоедов, Л.И. Гусева. – М: Наука, 1972. – С. 109-120.
- Vajda N. Determination of ^{241}Am isotope: a review of analytical methodology / N. Vajda, C-K Kim // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2010. – Volume 284. – С. 341–366.
- Mathew E. Determination of plutonium, americium and curium in environmental materials / E. Mathew, V.M. Matkar, K.C. Pillai // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 1985. – С. 267–278.
- Kimura T. Sequential separation of neptunium, plutonium, americium and curium using coprecipitation with bismuth phosphate / T. Kimura // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 1990. – Volume 139. – С. 307–314.
- Berlizov A.N. A technique for the determination of ^{90}Sr , plutonium and americium isotopes in environmental samples / A.N. Berlizov, A.D. Sajeniouk, V.V. Tryshyn // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2005. – Volume 263. – С. 307–310.

9. Joshi S.R. Lanthanum fluoride coprecipitation technique for the preparation of actinides for alpha-particle spectrometry / S.R. Joshi // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 1985. – Volume 90. – С. 409–414.
10. Фрумина Н.С. Аналитическая химия кальция / Н.С. Фрумина, Е.С. Кручкова, С.П. Муштакова. – М: Наука, 1974. – С. 26–31.
11. Sajeniouk A.D. Routine radiochemical method for the determination of ^{90}Sr , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am and ^{244}Cm in environmental samples / A.D. Sajeniouk // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2005. – Volume 264. – С. 337–342.
12. Андерсон Е.Б. Влияние коллоидной составляющей в растворах на процессы поглощения актинидов (Am(III) , Pu(IV)) стеклом и гранодиоритом из модельной грунтовой воды / Е.Б. Андерсон, Ю.М. Рогозин, Е.А. Смирнова [и др.]. // Радиохимия. – 2009. – Т. 51. – № 5. – С. 473–480.
13. Угай Я.А. Общая и неорганическая химия / Я.А. Угай. – М: Высшая школа, 2007.

СУДАҒЫ ^{241}Am ЖӘНЕ ^{152}Eu РАДИОНУКЛИДТЕРІНІҢ ТӨМЕН ДӘРЕЖЕДЕ ШОҒЫРЛАНУЫН АНЫҚТАУ ҮШІН СЫНАМАЛАРДЫ ДАЙЫНДАУ ӘДІСІН ӘЗІРЛЕУ

Айдарханова А.К., Лукашенко С.Н.

ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан

Аталған мақалада, судың сынамасындағы ^{241}Am және ^{152}Eu төмен дәрежеде шоғырлануын анықтауға сынамаларды дайындау әдістемесінің әзірлемесі ұсынылған. Зерттеліп жатқан радионуклидтердің төмен дәрежеде шоғырлануын анықтау үшін үлкен көлемдегі су сынамасынан 100 л тұздармен – қайта тұндырғыштармен қайта тұндыру жолы арқылы шоғырландыру әдісі тандап алынды. Қайта тұндырғыш – тұз ретінде темір гидроксиді (III) 1 л сынамаға Fe^{3+} 0,28 г мөлшерінде пайдаланылды. Процестерді өткізудің негізгі шарттары анықталды: 9 тең рН ерітінді, толығырақ тұну үшін қажетті, 8 сағатқа тең. Әдістеменің тиімділігі үлгідегі ерітінділерде және шоғырландырудың басқа әдісін қолдану барысында дәлелденді.

DEVELOPMENT OF TECHNIQUES FOR SAMPLE PREPARATION TO DETERMINE LOW CONCENTRATIONS OF ^{241}Am AND ^{152}Eu IN WATER

A.K. Aidarkhanova, S.N. Lukashenko

Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

This paper presents the development of methods for preparing samples to determine low concentrations of ^{241}Am and ^{152}Eu in water samples. To detect small concentrations of radionuclides studied we've chosen concentration of large amounts of water samples 100 liter by co-precipitation with salts – co-precipitants. As salt coprecipitant we used iron hydroxide (III) in an amount of 0.28 g of Fe^{3+} per 1 liter sample. The basic conditions of the process have been identified: the solution pH equal to 9, time needed for full precipitation equal to 8 hours. Efficiency of the method is proved on model solutions and on the use of another method of concentration.

УДК 541.13: 535.853.22:53.08:546.799.4

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ СЧЕТНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ α -СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ

Кириллов В.Д., Кириллова Т.Г., Сальменбаев С.Е., Шатров А.Н.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Для ^{242}Pu изучено влияние постоянной времени электролитической ячейки $T = f(S_{\text{кат}}, V_{\text{яч}})$ на длительность осаждения, плотность тока и качество осажденного слоя. Качество осажденного слоя и его плотность (мкг/см^2) контролировались методом электронной микроскопии. На основании полученного материала выбрана конструкция и геометрия электролитической ячейки. Установлена зависимость скорости счета от осаждаемого ^{242}Pu как функция времени осаждения при плотности тока $D = \text{const}$ и от величины тока электролиза при времени осаждения $t = \text{const}$. При обсуждении результатов настоящей работы сделаны выводы о том, что полученный набор данных необходим и достаточен для управления процессом электролиза с целью получения качественного счетного образца для α -спектрометрического измерения.

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В количественном определении плутония методом α -спектрометрии качество приготовленного счетного образца радикально влияет на точность и достоверность выполненного измерения. К параметрам, определяющим качество образца, следует, по-видимому, отнести однородность и плотность осажденной пленки, которая на практике не должна превышать 50 мкг/см^2 , так как выше этого значения эффект самопоглощения α -частиц в слое становится весьма существенным, что приводит к ухудшению энергетического разрешения.

Существуют разнообразные способы осаждения пленок счетных образцов, выполняемого, как правило, на круглых подложках из нержавеющей стали. Известен способ получения пленки испарением капли раствора, нанесенной на поверхность стальной подложки. Такой способ достаточно быстро выполним, но имеет существенные недостатки – пленка практически всегда получается неоднородной, а по завершении процесса испарения на поверхности образуются кристаллы примесей. Согласно описанию в источнике [1] способ электролитического осаждения плутония на поверхность стальных подложек не имеет таких недостатков. Пробы, приготовленные методом электролитического осаждения, получают тонкими и однородными. Наиболее часто этот метод используется для приготовления эталонных препаратов из чистых растворов плутония, не содержащих посторонних солей, однако он довольно длительный и требует специальной аппаратуры. Кроме того, в повседневной практике электрохимического осаждения невозможно использование абсолютно беспримесных реактивов. Действительно, конструкция электролизера, скорость перемешивания и соотношение между поверхностью катода и объемом раствора определяют время электролиза [2], которое может достигать 7–8 часов, а конструкция только электролизной ячейки сложна и состоит из множества деталей [3].

В связи с этим в настоящей работе было поставлено несколько задач:

1. Получить зависимость плотности тока электролиза от отношения площади катода электролитической ячейки к объему раствора электролита $D = f(S_{\text{кат}}/V_{\text{эл}})$;

2. Выбрать размеры конструкции электролитической ячейки ($S_{\text{кат}}, V_{\text{эл}}$), позволяющей получать непоглощающие счетные образцы с диаметром излучающего пятна, не превышающим диаметр регистрирующего детектора. Исходя из зависимости $D = f(S_{\text{кат}}/V_{\text{эл}})$, получить рабочую плотность тока;

3. При полученном фиксированном значении тока электролиза (плотности тока) исследовать зависимость скорости счета от осажденного ^{242}Pu от времени осаждения, $N(^{242}\text{Pu}\%) = f(t)$;

4. При выбранном фиксированном значении времени в интервале значений от 30 до 70 мин исследовать зависимость скорости счета от осажденного ^{242}Pu от величины протекающего тока электролиза (плотности тока), $N(^{242}\text{Pu}\%) = f(J)$.

В результате решения четырех вышеприведенных задач с использованием электронной микроскопии определить наиболее качественные осажденные пленки плутония и соответствующие им величины плотности тока и времени осаждения.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

1.1. Первой поставленной задачей являлось получение зависимости плотности тока электролиза (D) от отношения площади катода электролитической ячейки к объему раствора электролита (ячейки) $D = f(S_{\text{кат}}/V_{\text{эл}})$. Для этого были изучены результаты исследований, представленные в работах [2, 3, 4], в которых содержатся данные о диаметре катода, геометрии электролитической ячейки, объеме использованного электролита и рабочем токе осаждения. На основе полученных данных была построена зависимость плотности тока в электролитической ячейке от отношения площади катода к объему электроли-

1.2. Для получения величины рабочей плотности тока из зависимости $D = f(S_{\text{кат}}/V_{\text{эл}})$, диаметр отверстия в днище ячейки был выбран равным 1,3 см, что соответствует площади катода $S = 1,3 \text{ см}^2$. Объем электролита был принят $V = 10 \text{ мл}$. С использованием построенной зависимости по п.1.1. и принятых площади катода и объема электролита, была определена рабочая плотность тока электролиза, что позволило решать последующие задачи.

1.3. Для построения зависимостей $N = f(J)$ и $N = f(t)$ использовался трассер – раствор радионуклида плутония – ^{242}Pu с удельной активностью 1,02 кБк/г производства государственной корпорации «Росатом» ФГУП «НПО Радиевый институт им. В.Г. Хлопина». Трассер в количестве 0,4 мл помещался в электролитическую ячейку, которая заполнялась 10 мл водного раствора электролита, содержащего два наименее химически агрессивных компонента: 1М хлорид аммония и 0,01М оксалат аммония, что позволило применить перемешивание электролита подходящими газами [5].

1.4. Для изучения функции $N = f(J)$ было выбрано фиксированное значение времени осаждения равное 1 часу. Были выбраны значения тока электролиза равные 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400 и 1600 мА, при которых осаждался ^{242}Pu (трассер). Альфа-спектрометрические измерения получаемых образцов проводились на альфа-спектрометре Canberra 7401. Расчет электрохимического выхода (X) изотопа плутония ^{242}Pu осуществлялся согласно выражению:

$$X = N/\varepsilon A_{\text{тр}}$$

где N – скорость счета в окне регистрации ^{242}Pu ;

$A_{\text{тр}}$ – активность трассера, внесенного в электролит перед осаждением;

ε – эффективность регистрации детектора.

Значение эффективности регистрации равное 0,3 было взято из паспорта прибора. Данное значение эффективности соответствует случаю, когда источник в измерительной камере располагается на минимальном расстоянии от детектора. Поэтому все измерения проводились при фиксированном расстоянии «источник-детектор».

1.5. В свою очередь для изучения функции $N = f(t)$ были выбраны значения времени осаждения трассера равные 30, 40, 50, 60 и 70 минут. Осаждение проводилось при фиксированном токе электролиза равном 1400 мА. Скорость счета излучательно образца фиксировалась также α – спектрометрическим методом. В результате анализа данных было получено значение времени равное 60 мин, при котором достигается полное осаждение трассера.

1.6. Оценка качества осаждаемых пленок производилась с применением макро - и микрофотографии. Макрофотографии (Рисунок 3 –) были получены цифровым фотоаппаратом Canon PowerShot SX260HS. Микрофотографии были сделаны на низковакуумном аналитическом растровом электрон-

ном микроскопе (РЭМ) «JSM-6390LV» фирмы JEOL, Япония, при увеличении $\times 650$. При этом подложка из нержавеющей стали толщиной 0,5 мм с осажденной пленкой разрезалась под прямым углом к плоскости пленки, после чего образец помещался в камеру микроскопа для получения фотографии.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

2.1. Результаты исследования зависимости плотности тока электролиза от отношения площади катода к объему электролита $D = f(S_{\text{кат}}/V_{\text{эл}})$ приведены на рисунке 1.

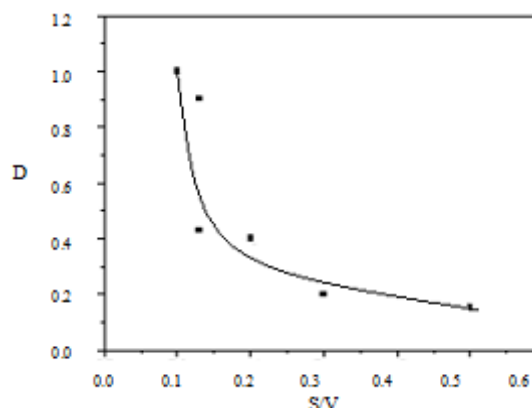


Рисунок 1 – Зависимость плотности тока электролиза от отношения площади катода к объему электролита

В большинстве опубликованных работ площадь катода составляет порядка $1,3 \text{ см}^2$, что хорошо согласуется с диаметром рабочей подложки, используемой в лаборатории РХИ ИРБЭ. При наиболее удобном объеме электролита 10 – 12 мл величина отношения S/V равна 0,13. Исходя из зависимости, представленной на рисунке 1, величина плотности тока для данного отношения равна $1,07 \text{ А/см}^2$, что соответствует току электролиза 1,4 А.

Из полученной зависимости также видно, что при бесконечном увеличении фактора $S_{\text{кат}}/V_{\text{эл}}$ плотность тока D будет экспоненциально стремиться к нулю. На практике это означает, что при постоянном объеме электролита площадь катода будет бесконечно расти, и геометрия электролитической ячейки будет представлять собой некий плоский диск. И, наоборот, в случае, если фактор $S_{\text{кат}}/V_{\text{эл}}$ будет стремиться к нулю, плотность тока будет бесконечно расти при равных объемах электролита, а электролитическая ячейка будет представлять собой некую очень длинную трубку. Между этими двумя предельными случаями из множества значений аргумента $S_{\text{кат}}/V_{\text{эл}}$ нами было выбрано значение равное 0,13, которое при объеме электролита 10 мл соответствует площади катода $1,3 \text{ см}^2$ и плотности тока электролиза 0,92 - $1,07 \text{ А/см}^2$, что при данной площади катода соответствует току 1200 – 1400 мА. Таким образом, геометрия электролитической ячейки определилась как двухкамерный цилиндр диаметром 2,7 см, высотой 4 см, в верхнюю камеру которого заливается электролит объемом 10 см^3 , а в ниж-

ней камере лицевой стороной к электролиту находится круглая подложка (катод) из нержавеющей стали, закрывающая собой круглое отверстие в дне верхней камеры площадью $1,3 \text{ см}^2$. Конструкция ячейки показана на рисунке 6.

2.2. Результаты экспериментальных данных, иллюстрирующие зависимость скорости счета от осаждаемого ^{242}Pu от длительности электролиза при токе 1400 мА, представлены на графике (рисунок 2).

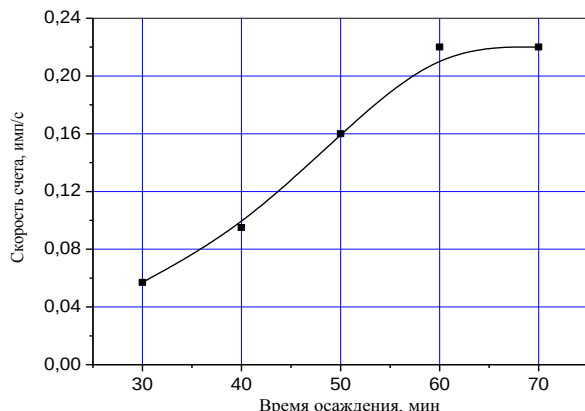


Рисунок 2 – График зависимости скорости счета от времени осаждения

Из графика следует, что в нашем случае, так же как и в работе автора [3], график имеет практически линейную зависимость в течение первого часа электролиза с той лишь разницей, что здесь по истечении одного часа продолжать электролиз дальше не имеет смысла, поскольку к этому времени имеет место практически максимальный выход ^{242}Pu , при данной скорости счета определенный как 100%. Этот факт, как нам представляется, можно объяснить с точки зрения оптимального выбора параметров ячейки в рамках поставленных выше задач.

2.3. По-видимому, максимальное осаждение ^{242}Pu можно получить и за более короткое время, пропуская через раствор то же количество электричества, увеличивая силу тока, однако в этом случае возникают эффекты шнурования тока на микронеровностях поверхности катода и качество осевшей пленки резко ухудшается [6]. Уменьшение силы тока соответственно приводит к увеличению длительности электролиза при хорошем качестве осевшей пленки. На фото (рисунок 3) показаны счетные образцы, полученные в течение одного часа при разных величинах тока электролиза.



Рисунок 3 – Вид поверхности осаждаемого ^{242}Pu в зависимости от силы тока; соответственно слева направо 800 мА, 1200 – 1400 мА, 2000 мА

Как видно на приведенной фотографии, при токе электролиза 800 мА наблюдается визуально едва заметная, но α -спектрометрически определяемая пленка, состоящая из суммарного количества осевших примесных катионов и содержащая, в том числе, осевший ^{242}Pu . При токе электролиза 2000 мА можно видеть отчетливые следы шнурования тока, вызвавшего соответственное оседание пленки, и при токе электролиза 1200 – 1400 мА виден отчетливый ровный диск осевшей пленки. Из этого можно сделать вывод, что при токе осаждения меньше чем 1200 – 1400 мА концентрация осаждаемого плутония недостаточна для уверенного определения его в течение оптимального времени измерения, а при превышении этого значения тока (2000 мА), осаждаемая пленка представляет собой крупнозернистый слой, что вызывает самопоглощение α -частиц. Таким образом, среднее значение тока 1300 мА является оптимальным для получения счетных образцов в течение 1 часа.

2.4. В свою очередь, анализ зависимости скорости счета от тока электролиза (рисунок 4) показывает, что максимальная скорость счета имеет место при токе осаждения равном 1400 мА.

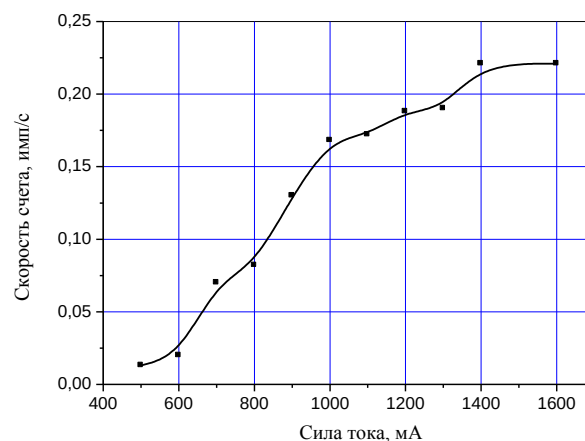


Рисунок 4 – График зависимости скорости счета от силы тока

Таким образом, приведенные данные по п.п. 2.2, 2.3, 2.4 дают возможность сделать вывод о том, что для получения качественных счетных образцов с выбранной электролитической ячейкой необходимо использовать время осаждения равное 1 часу и силу тока 1300 – 1400 мА.

2.5. Электронный микрофотоконтроль показал, что на срезе слой пленки, осевшей при токе электролиза 1300 – 1400 мА, имеет ровную структуру и достаточно мелкую зернистость (рисунок 5).

На фотографии при 650-кратном увеличении четко просматриваются три зоны:

I зона представляет собой поверхность пленки, осаждаемой при токе электролиза 1200 – 1400 мА. Хорошо видна весьма ровная структура по всей площади без явных нарушений.

II зона является вертикальным срезом осажденной пленки, относительно равномерная зернистая структура которой достаточно хорошо видна.

III зона соответствует вертикальному срезу подложки. Здесь хорошо просматривается структура нержавеющей стали. Обращает на себя внимание соизмеренность структурных единиц стали и пленки, что тоже может служить критерием качества осаждения.

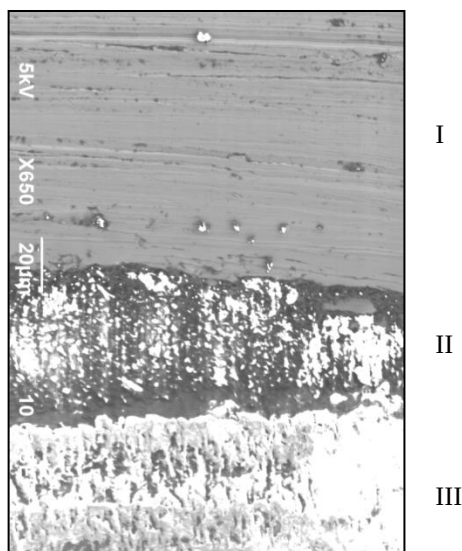


Рисунок 5 – Электронная фотография подложки с осажденной пленкой, содержащей ^{242}Pu , вертикальный срез

Представленная фотографиями качественная картина осаждения в значительной мере дополняется количественно графиком (рисунок 4).

Из графической зависимости видно, что при величине тока электролиза 1400 mA кривая зависимости выходит на насыщение, что указывает на то, что имеет место максимальное осаждение ^{242}Pu . Дальнейшее повышение силы тока не приведет к увеличению количества осаждаемого плутония, но может сократить время электролиза, вызывая эффекты

шнурования тока на катоде и понижая качество осаждаемой пленки.

Таким образом, суммируя приведенные материалы настоящей работы, можно заключить, что при токе электролиза 1300 – 1400 mA в течение 1 часа осаждения в электролитической ячейке (рисунок 6) с параметром $S_{\text{кат}}/V_{\text{эл}} = 0,13$ имеются наиболее оптимальные условия получения пленок с ^{242}Pu и соответственно с его изотопами.

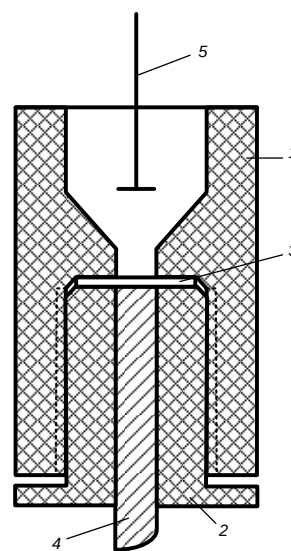


Рисунок 6 – Конструкция электролитической ячейки в сборе: 1 – корпус ячейки, 2 – фиксирующая пробка, 3 – подложка, 4 – катод, 5 – анод

Такое заключение подтверждается многочисленными калибровочными работами [4] при изготовлении новой модели электролизера. Типичный спектр из регулярно получаемых в рамках работ по калибровке электролизера по плутонию-242 представлен на рисунке 7.

Из рисунка видно, что пик полного поглощения соответствует ^{242}Pu (трассер) с полушириной пика на уровне полувысоты равной 15,6 кэВ.

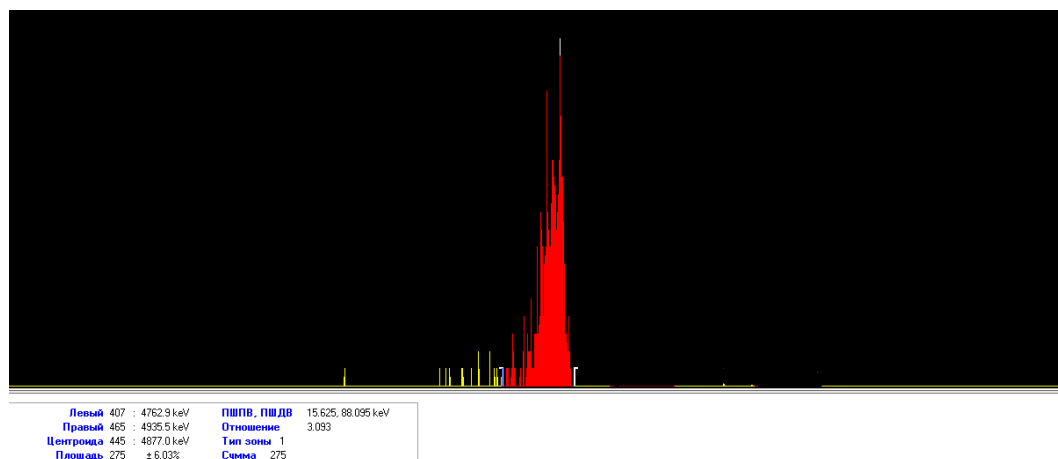


Рисунок 7 – Альфа-спектр, полученный от счетного образца ^{242}Pu

ВЫВОДЫ

1. Найдены оптимальные параметры электрохимического осаждения изотопов плутония: ток 1200 – 1400 мА, время осаждения до 1 часа с оптимальным параметром ячейки $S_{кат} / V_{эл} = 0,13$, что позволяет применять этот способ при массовых анализах.

2. Создана и внедрена в массовый анализ упрощенная конструкция электрохимической ячейки, состоящая всего из двух деталей.

3. Применение электронно-микроскопического метода позволяет определить структуру пленки, осажденной на подложку из нержавеющей стали, и тем самым, контролировать качество осаждения.

4. Установленные параметры электрохимического осаждения изотопов плутония служат предпосылкой для подбора состава электролита, окончательно способного снизить ток и время осаждения при выбранной геометрии электролитической ячейки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бекман И.Н. Плутоний: учеб. пособие / И.Н. Бекман. - Глава 7. <http://profbekman.narod.ru/Pluton.htm>.
2. Милюкова М.С. Аналитическая химия плутония / М.С. Милюкова, Н.И. Гусев, И.Т. Сентюрин, И.С. Складенко. – Москва: Наука, 1965. - С.131.
3. Dalton G.C. United Kingdom Atomic Energy / G.C. Dalton. - Authority Production Group, Rept 284(w), 1962.
4. Патент РК №12-3/5565 от 09.12.2011. Устройство для электрохимического осаждения плутония / В.Д. Кириллов, А.А. Мельничук, О.Ю. Коровина, П.В. Говенко, А.Н. Шатров.
5. Патент РК №12-3/2365 от 02.07.2012. Способ электрохимического осаждения плутония / В.Д. Кириллов, А.А. Мельничук, О.Ю. Коровина, П.В. Говенко, А.Н. Шатров.
6. Изгарышев Н.А. Курс теоретической электрохимии / Н.А. Изгарышев, С.В. Горбачев. – Москва-Ленинград: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1951. - С. 35.

ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ТҮНДЫРУ ӘДІСІМЕН α -СПЕКТРОМЕТРИЯЛЫҚ ӨЛШЕУЛЕР ҮШІН ЕСЕПТІК ҮЛГІЛЕРДІ АЛУ ШАРТЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Кириллов В.Д., Говенко П.В., Коровина О.Ю., Кириллова Т.Г.,
Мельничук А.А., Мухамедияров Н.Ж., Шатров А.Н.

ҚР ҰАО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Құрчатов, Қазақстан

^{242}Pu үшін тұрақты уақыттың әсерінен $T = f(S_{кат}, V_{яч})$ электролитиялық ұяшықтарда тұнудағы ұзақтығы, токтың тығыздығы және тұнған қатпардың сапасы зерттелді. Тұнған қатпардың сапасы мен оның тығыздығы ($\mu\text{г}/\text{см}^2$) электронды микроскопия әдісімен бақыланды. Алынған материалдың негізінде электролитиялық ұяшықтың геометриясы мен құрылымы таңдалды. $D - \text{const}$ тогының тығыздығы барысындағы тұну уақытының қызметі ретінде және $t - \text{const}$ тұну уақыты барысындағы электролиз тогының шамасынан ^{242}Pu тұнуынан есептеу жылдамдығының байланыстылығы белгіленді. Аталған жұмыстың нәтижелерін талқылау барысында алынған деректер жиынтығы α -спектрометриялық өлшеулер үшін сапалы есептік үлгіні алу мақсатында электролиз процесін басқару үшін қажетті және жеткілікті деген тұжырым жасалды.

OPTIMIZATION OF CONDITIONS FOR COUNTING SAMPLES FOR α -SPECTROMETRIC MEASUREMENTS BY ELECTROCHEMICAL DEPOSITION

V.D. Kirillov, P.V. Govenko, O.Yu. Korovina, T.G. Kirillova,
A.A. Melnychuk, N.Zh. Mukhamediyarov, A.N. Shatrov

Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The constant of the electrolytic cell time $T = f(S_{кат}, V_{яч})$ for the duration of the deposition, current density and quality of the deposited layer have been studied for ^{242}Pu . The quality of the deposited layer and its density ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) were monitored by electron microscopy. Based on the received materials a design and geometry of the electrolytic cell have been chosen. There has been established dependence of the counting rate on the deposited ^{242}Pu as a function of deposition time at a current density $D - \text{const}$, and the amount of electrolysis current at the deposition time $t - \text{const}$. The discussions of the results of this work summarized that the resulting data set is necessary and sufficient to control the process of electrolysis to produce high-quality count sample for α -spectrometric measurements.

УДК 577.391:504.064:539.16

К ВОПРОСУ О ВАРИАТИВНОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В РАСТЕНИЕВОДЧЕСКУЮ ПРОДУКЦИЮ ПРИ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВЕ НА ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ» ТЕРРИТОРИИ СИП

Кожаханов Т.Е., Лукашенко С.Н., Кундузбаева А.Е., Магашева Р.Ю.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В данной работе представлена общая информация о постановке и проведении натурного эксперимента по изучению накопления радионуклидов сельскохозяйственными культурами в условиях радиоактивного загрязнения на территории бывшего СИП. Целью исследования было изучение особенностей накопления искусственных радионуклидов разными видами сельскохозяйственных растений выращиваемых на радиоактивно-загрязненной территории. В результате работы выявлены особенности накопления и распределения техногенных радионуклидов в вегетативных и генеративных органах исследуемых растений. Получены коэффициенты накопления ^{137}Cs и ^{241}Am для продукции растениеводства, необходимые для прогноза концентраций данных радионуклидов при оценке возможности передачи части территории СИП в хозяйственное пользование.

ВВЕДЕНИЕ

Потребление сельскохозяйственной продукции с повышенным содержанием радиоактивных веществ остается одним из основных источников облучения населения, проживающего или ведущего хозяйственную деятельность на радиоактивно загрязненной территории. В отдельных случаях вклад внутреннего облучения населения за счет потребления содержащих радионуклиды продуктов питания в суммарную дозу сравним или даже выше вклада внешнего облучения [1].

Проведение масштабных работ по передаче части земель бывшего СИП в хозяйственный оборот обуславливает необходимость проведения исследований особенностей накопления искусственных радионуклидов в различных объектах окружающей среды (почва, вода, растения и животные). В этой связи актуальными являются исследования особенностей перехода и накопления радионуклидов в растениеводческую продукцию, которая может быть получена на территории СИП.

В мировой практике процессы миграции и перехода отдельных радионуклидов в с/х растения достаточно хорошо изучены, а характер накопления ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в с/х растениях все еще остается малоизученным [2]. В нашем же случае данных по накоплению радионуклидов в растениеводческой продукции, произведенной на территории СИП, до 2010 г. просто не было.

Впервые работы по изучению особенностей накопления радионуклидов сельскохозяйственными культурами и их распределением по отдельным органам растений, были начаты в 2010 г. на пл. «Опытное поле» территории СИП. Были получены первые экспериментальные данные о характере накопления радионуклидов различными видами с/х растений [3]. В результате работ были получены экспериментальные данные коэффициентов накопления ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ для основной рас-

тительной продукции. Отмечена зависимость в накоплении ^{241}Am , ^{137}Cs и ^{90}Sr для растений семейства лилейных от типа посадочного материала. Установлено, что наиболее интенсивно идет накопление радионуклидов в корнях и надземной части растений (листья и стебли), а в генеративных органах (плодах и зерне) накопление радионуклидов происходит меньше всего. Для количественной оценки разницы в накоплении радионуклидов исследуемыми растениями рассчитаны отношения коэффициентов накопления (K_n) радионуклидов и был установлен следующий убывающий ряд: $K_n^{90}\text{Sr} > K_n^{137}\text{Cs} > K_n^{239+240}\text{Pu} > K_n^{241}\text{Am}$. В 2011 году были продолжены натурные эксперименты с с/х культурами для уточнения значений K_n и оценке влияния дополнительных факторов на процесс перехода и накопления радионуклидов в растения.

Основной целью работы стала оценка стабильности K_n полученных в 2010-2011 гг., в случае смещения экспериментальной площадки, а также влияния климатических параметров на особенности накопления искусственных радионуклидов сельскохозяйственными культурами при их выращивании в районе проведения наземных ядерных испытаний на территории СИП.

1. ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для проведения натурного эксперимента по изучению накопления радионуклидов сельскохозяйственными культурами была выбрана территория в районе технической площадки «П-2», характеризующаяся высоким содержанием радионуклидов, которые относятся, прежде всего, к трансурановым: $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am . Содержание радионуклидов в поверхностном горизонте почвы (0-5 см) находится на уровне: ^{241}Am – $n \cdot 10^4$ Бк/кг, ^{137}Cs – $n \cdot 10^3$ Бк/кг, ^{90}Sr – $n \cdot 10^3$ Бк/кг и $^{239+240}\text{Pu}$ – $n \cdot 10^5$ Бк/кг [4]. Естественный почвенно-растительный покров исследуемой территории представлен светло-каштановыми почвами и степным разнотравьем.

Объектами исследования были выбраны в 2010 г. – 12 видов, а в 2011 г. – 14 видов сельскохозяйственных растений. Посадка исследуемых растений производилась в сроки, рекомендуемые для выбранных видов сельскохозяйственных культур, с учетом природно-климатических условий региона. Система земледелия включала следующие мероприятия: агротехнические (весенняя вспашка, выравнивание поверхностного слоя, удаление сорных растений), мелиоративные (искусственное орошение). На исследуемой территории, в период проведения полевых работ в 2010-2011 гг. проводились наблюдения за метеорологическими условиями [5].

1.1. Опытнo-экспериментальный участок

В 2010 году экспериментальный участок был размещен в эпицентральной части пл. П-2 на радиа-

ционно-загрязненной территории, загрязнение которой, связано с выпадениями от наземных ядерных и гидроядерных взрывов, с максимальным уровнем МЭД $\sim 5,83$ мкЗв/ч и содержанием радионуклидов в обработанной почве (0-15 см) ^{241}Am 320-1400 Бк/кг, ^{137}Cs – 530-2500 Бк/кг, ^{90}Sr – 520-2700 Бк/кг и $^{239+240}\text{Pu}$ – 2350-5800 Бк/кг (рисунок 1).

В 2011 году экспериментальный участок был расположен в северной части пл. П-2 на территории, загрязнение которой, скорее всего, связано с выпадениями от гидродинамических или гидроядерных взрывов, с максимальным уровнем МЭД $\sim 23,4$ мкЗв/ч и содержанием радионуклидов в перепаханной почве (0-15 см) ^{241}Am 750-4830 Бк/кг, ^{137}Cs – 140-1060 Бк/кг, ^{90}Sr – <100-880 Бк/кг и $^{239+240}\text{Pu}$ – 2900-86600 Бк/кг.

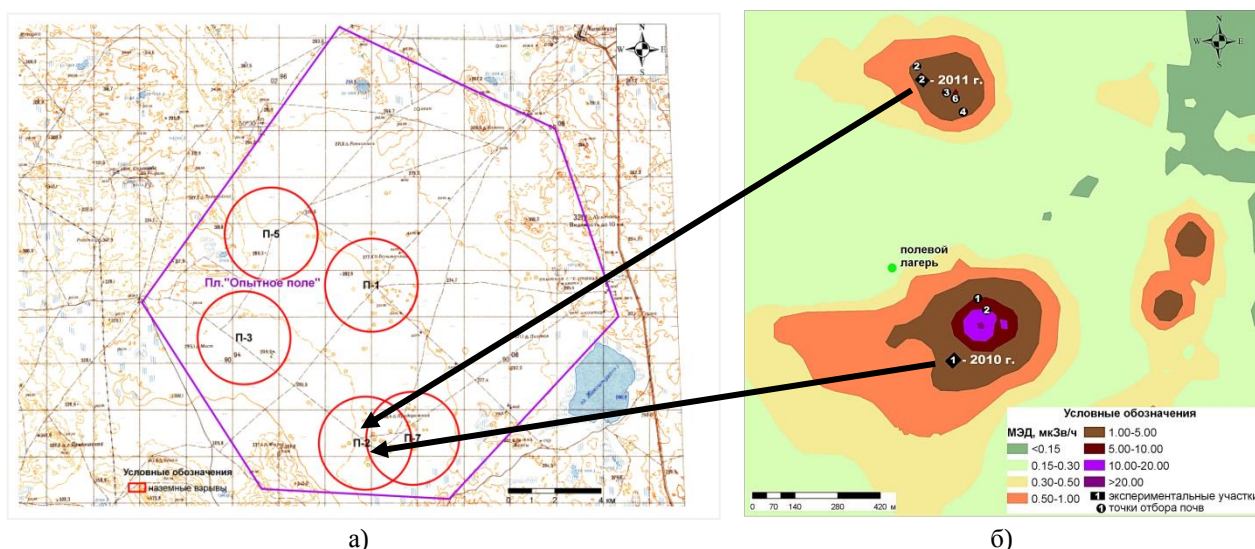


Рисунок 1 – Площадка «Опытное поле» территории СИП

а – техническая площадка П-2; б – схема расположения жилой и рабочей зоны на площадке П-2

1.2. Объекты исследования

Одним из важных моментов исследования являлось изучение особенностей накопления радионуклидов видами сельскохозяйственных культур, которые выращиваются в Казахстане или в схожих почвенно-климатических условиях. Вследствие чего была проанализирована информация о современном состоянии сельского хозяйства РК, на основании которой были определены экспериментальные виды культурных растений [6].

В качестве экспериментальных видов сельскохозяйственных растений, были выбраны культуры, производство которых в растениеводстве Казахстана занимает ведущие роли, а их выращиванием занимаются не только хозяйствующие субъекты, но и местное население: пшеница и ячмень (семейство злаковые), тыква, арбуз и огурцы (семейство тыквенные), картофель баклажаны, перец и томат (се-

мейство пасленовые), подсолнечник (семейство астровые), лук (семейство лилейные), морковь (семейство сельдерейные) и капуста (семейство капустные) (таблица 1).

В ходе эксперимента выбор не только определенных видов с/х культур, но и сортов зависел от того насколько районированы данные сорта, как широко используются населением на собственных огородах и возможности их приобретения.

1.3. Планировка экспериментального участка и посадка сельскохозяйственных культур

Планировка экспериментальных участков и расположение посаженных сельскохозяйственных растений по делянкам представлено на рисунке 2.

Посадка экспериментальных видов растений производилась разным посадочным материалом: семенами и рассадой (таблица 1).

Таблица 1 – Экспериментальные виды сельскохозяйственных культур

№ п/п	Вид сельскохозяйственной культуры	Сорт		Тип посадочного материала	Тип посадки
		2010 г.	2011 г.		
1	арбуз (<i>Citrullus vulgaris</i>)	«Огонек»	«Астраханский»	семена	гнездовой
2	тыква (<i>Cucurbita pepo</i>)	-	«Атлант»	семена	гнездовой
3	дыня (<i>Cucumis melo</i>)	неизвестен	-	семена	гнездовой
4	огурцы (<i>Cucumis sativus</i>)	-	«Кустовые»	семена	рядовой
5	томат (<i>Solanum lycopersicum</i>)	местный	«Чери»	рассада	рядовой
6	перец (<i>Capsicum annum</i>)	местный	«Ласточка»	рассада	рядовой
7	баклажан (<i>Solanum melongena</i>)	местный	«Черный принц»	рассада	рядовой
8	картофель (<i>Solanum tuberosum</i>)	местный	Местный	клубни	рядовой
9	капуста (<i>Brassica oleracea</i>)	местный	«Слава»	рассада	рядовой
10	морковь (<i>Daucus carota</i>)	«Шантанэ»	«Шантанэ»	семена	узкорядный
11	лук (<i>Allium cepa</i>)	«Касатик»	«Каратальский»	семена и луковицы	узкорядный
12	подсолнечник (<i>Helianthus cultus</i>)	«Заря»	«Заря»	семена	широкорядный
13	пшеница (<i>Triticum vulgare</i>)	«Белоозерка»	«Белоозерка»	семена	узкорядный
14	ячмень (<i>Hordeum vulgare</i>)	«Мещанский»	«Мещанский»	семена	узкорядный

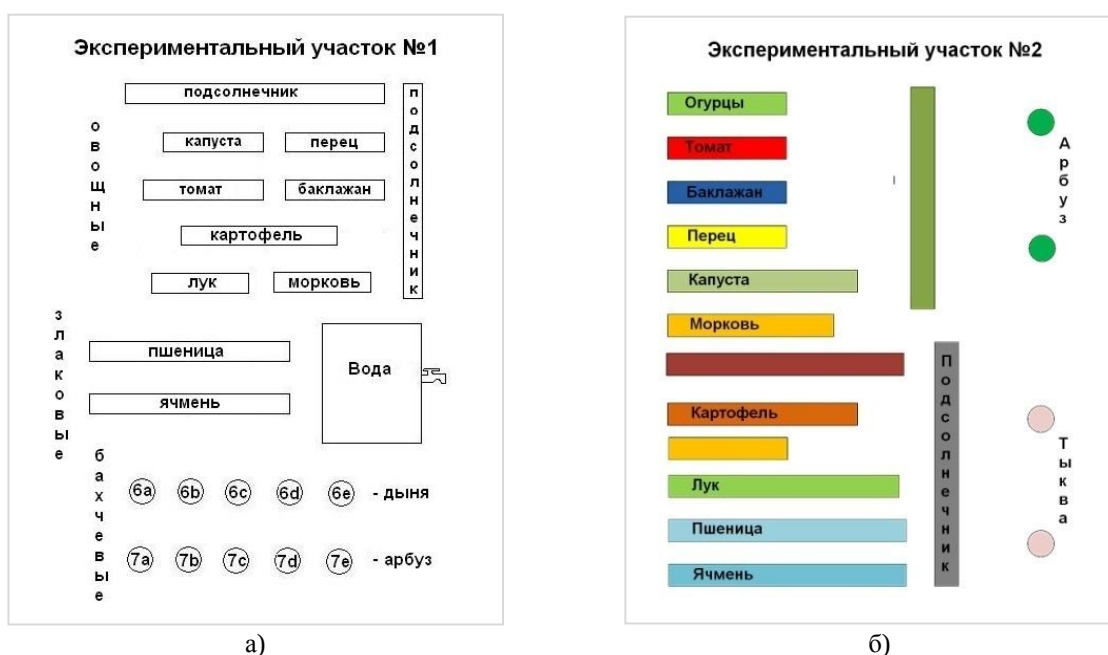


Рисунок 2 – Схема расположения делянок на участке №1 – 2010 г. (а) и №2 – 2011 г. (б) территории Опытного поля

1.4. Основные этапы эксперимента с сельскохозяйственными растениями

На экспериментальных участках (№1 и №2) проводилась весенняя агротехническая обработка почвы: вспашка на глубину 15 см и дальнейшее её боронование. Для дальнейших сельскохозяйственных работ были подготовлены участки с площадью ~ 200 м² (участок 2010 г.) и 750 м² (участок 2011 г.). После выравнивания поверхностного слоя и удаления сорных растений была проведена подготовка делянок под посадку сельскохозяйственных культур (рисунок 3).

Основными этапами эксперимента с растениями стали посадка, уход, полив с/х культур и сбор урожая (рисунок 4).

Экспериментальная часть опыта с сельскохозяйственными растениями велась с месяца мая (первая посадка растений) по октябрь (окончательный сбор

урожа). Отдельные культуры высаживались повторно (свекла) или досаживались из-за погодных условий, режима полива, степных птиц и грызунов: огурцы, подсолнечник, пшеница (таблица 2).

Из-за отдаленности от пресных водоисточников и наличия грунтовых вод с высокой соленостью полив на участках 2010-2011 гг. осуществлялся пресной, не загрязненной радионуклидами, привозной водой. Полив производился лейками и с помощью водяной помпы из резервуаров с водой. В 2010 г. полив производился в вечернее время (17⁰⁰-21⁰⁰ ч.) с частотой - 4 раза в неделю для овощных культур и по мере необходимости - 2 раза в неделю для злаковых и бахчевых. В 2011 г. полив с/х культур производился с другой частотой (таблица 3) в утреннее (5⁰⁰-8⁰⁰ ч) и вечернее время (17⁰⁰-21⁰⁰ ч.). В среднем объем поливной воды за один полив в 2010 г. составил 20-30 л/м², а в 2011 г. - 12-15 л/м².



а)



б)



в)

Рисунок 3 – Этапы работ на экспериментальных участках: а – распахивание целины, б – удаление остатков степной растительности, в – подготовка делянок под посадку растений



а)



б)



в)

Рисунок 4 – Этапы работ на экспериментальных участках: а – посадка сельскохозяйственных культур, б – полив растений, в – делянка капусты на участке.

Таблица 2 – Сроки посадки и сбора сельскохозяйственных культур

Сельскохозяйственные культуры	Посадка (замена или повторная посадка)		Сбор	
	2010 г.	2011 г.	2010 г.	2011 г.
томат	18 мая (1 – 3 июня)	29 мая	14 сентября	30 августа
капуста	29 мая	29 мая	23 сентября	3 октября
баклажан и перец	18 мая (1 июня)	29 мая	12 - 14 сентября	24 – 25 августа
картофель	16 мая	10 июня	10 сентября	2 сентября
огурцы	—	10 июня (20 июня)	—	6 сентября
лук	16 мая – 1 июня	10 июня (22 июня)	12 сентября	3 октября
морковь	16 мая	10 июня (10 июля)	23 сентября	28 сентября
подсолнечник	15 мая	10 июня (23 июня)	22 сентября	19 сентября
ячмень	15 мая	10 июня	10 сентября	24 августа
пшеница	15 мая	10 июня (22 июня)	18 августа	24 августа
арбуз, дыня и тыква	15 мая	10 июня	11 сентября	17 - 28 сентября

Таблица 3 – Частота полива сельскохозяйственных культур

Сельскохозяйственные культуры	Частота полива	
	2010 г.	2011 г.
огурцы	—	каждый день
морковь, лук	1 раз в 2 дня	1 раз в 2 дня
перец	1 раз в 2 дня	1 раз в 2-3 дня
помидоры, капуста, баклажаны, тыква	1 раз в 2 дня	1 раз в 3 дня
пшеница, ячмень, подсолнечник	1 раз в 3-5 дня	1 раз в неделю
арбуз, картофель	1 раз в 3-5 дня	1 раз в 2 недели

2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Измерение метеорологических параметров

В период с июня по октябрь 2010-2011 гг. проводились наблюдения за метеорологическими условиями. Измерения температуры окружающего воздуха проводились с использованием мобильной цифровой метеостанции «Vantage Pro 2» (температурный

диапазон от –40 до 65 °С), определяющей следующие метеорологические параметры: температуру и относительную влажность воздуха, атмосферное давление, осадки, скорость и направление ветра.

2.2. Отбор проб сельскохозяйственных растений и почвы

По мере созревания, в несколько повторностей и по отдельным генеративным и вегетативным орга-

нам растений (по возможности) производился сбор экспериментальных культур. После отбора, в полевых или в лабораторных условиях, растительные пробы разделялись по вегетативным органам и взвешивались в сыром виде. Растительные пробы помещались в полиэтиленовые пакеты и снабжались паспортом [7]. Сопряжено отбору растительных проб производился отбор проб почв на корнеобитаемую глубину: для огурцов, злаковых, перца, лука и фасоли – 10 см, капусты, баклажан, томат, подсолнечника, свеклы, кукурузы – 15 см, моркови, бахчевых – 20 см и картофеля – 25 см. Отбор производился специальным инструментом (металлический совок) с высотой отбираемой части пробоотборника – 5 см, шириной – 5 см и длиной – 5 см. Отбор проб почвы на делянках, производился равномерно с шагом отбора 0,7 – 3 м (в зависимости от длины делянки), но не менее 2 точек отбора (делянки бахчевых культур). Пример отбора проб почвы на делянках некоторых культур представлен на рисунке 5.

После отбора, пробы почв объединялись, перемешивались и усреднялись методом квартования для каждой делянки.

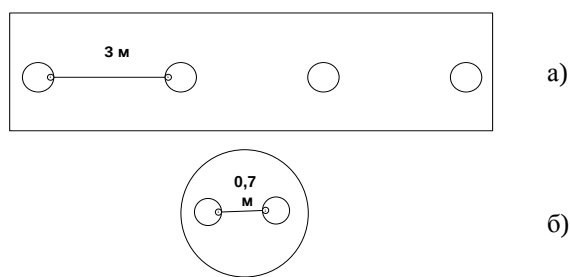


Рисунок 5 – Схема отбора проб почвы делянок пшеницы, ячменя, подсолнечника (а) и делянок тыквы и арбуза (б),
○ – точка отбора проб

2.3. Физико-химический анализ почв

Механический состав почвы определялся пипет-методом, устанавливающим количественное соотношение в процентах почвенных фракций, охватывающих ту или иную группу частиц разного размера [8]. Определение содержания в почве гумуса проводилось по методу Тюрина в модификации Никитина. Измерение pH проводилось методом, основанным на измерении величины pH водной вытяжки пород электродной системой, состоящей из индикаторного стеклянного электрода, потенциал которого определяется активностью водородных ионов в растворе, и вспомогательного проточного электрода сравнения с известным потенциалом [9].

2.4. Определение радионуклидного состава

Подготовка проб

Пробы растительности промывались и ополаскивались дистиллированной водой 2-3 раза, просушивались в сушильном шкафу при температуре 80-100°C до постоянной массы пробы и подвергались грубому измельчению до длины 1-3 см при помощи

секатора. Дополнительно проводилось измельчение растительных проб до размера частиц в 1 мм на лабораторной мельнице для гамма-спектрометрических измерений ^{137}Cs и ^{241}Am . Сухие, измельченные и перемешанные пробы растений массой 3-100 г взвешивались и передавались на гамма-спектрометрические измерения.

Пробы почвы высушивались до воздушно-сухого состояния в сушильных шкафах при температуре 60-70 °C. После удаления крупных камней и включений (корней растений) взвешивались на технических весах. Далее весь объем пробы тщательно перемешивался, постепенно (порционно) растирался в фарфоровой ступке с помощью пестика и просеивался через сито с диаметром отверстий 1 мм. Далее методом квартования отбиралась навеска почвы 300-500 г для дальнейшего определения ^{241}Am и ^{137}Cs .

Определение наиболее доступных растениям форм нахождения радионуклидов

Формы нахождения радионуклидов и микроэлементов в почве определяли методом последовательного выщелачивания из почвы различными реагентами и определением их содержания в полученных вытяжках [10]. Для этого 100 г воздушно-сухой пробы почвы, просеянной через сито диаметром ячеек 1 мм, последовательно обрабатывали различными выщелачивающими растворами и получали соответствующие вытяжки. Соотношение почвы и выщелачивающего раствора во всех этапах эксперимента поддерживалось равным 1:5. Наиболее доступные растениям формы радионуклидов извлекали водой (водорастворимая форма) и 1М раствором уксуснокислого аммония (обменная форма).

Радионуклидный анализ

Анализы по измерению удельной активности радионуклидов в пробах почвы и растений проводились в соответствии стандартизованными методическими указаниями на поверенной лабораторной аппаратуре [11, 12]. Определение удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am для почвы и растений проводилось на гамма-спектрометре Canberra GX-2020. Концентрация ^{241}Am , ^{137}Cs в растениях определялась в сухих измельченных образцах. Предел обнаружения в зависимости от типа пробы и навески по ^{137}Cs составил 0,4-27 Бк/кг (сухого вещества для проб растений и почвы), ^{241}Am – 0,2-15 Бк/кг соответственно. Погрешность измерений для ^{137}Cs и ^{241}Am не превышала 20-25 %.

2.5. Расчет коэффициентов накопления

Расчет коэффициентов накопления (Кн), необходимых для количественного описания параметров переноса радионуклидов из почвы в надземную часть растений, представлял собой отношение содержания радионуклида в единице массы растительности к содержанию радионуклида в единице массы почвы [13].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1. Природно-климатические условия

Были получены метеорологические данные погоды за 2010 г. и 2011 г., которые представлены в таблице в сравнении (таблица 4).

На основании полученных метеоданных за 2010 и 2011 года видно, что в 2011 г. месяцы июнь и август были холоднее, а август и сентябрь дождливее. В целом же климатические условия весенне-осеннего периода (в 2010 г. и 2011 г.) сравнимы и являются характерными для данного региона.

3.2. Оценка качества почв

В целом, исследуемые почвы пл. «Опытное поле», относятся к светло-каштановым, нормальным (мощность рыхлых отложений более 80 см), суглинистым (содержание физической глины 27,5-67,6%) и слабо засоленным (сумма солей 0,03-0,1%) [14]. Определенное влияние на накопление радионуклидов растениями могут оказывать, как физико-химические свойства почв, так и формы нахождения в них самих радионуклидов [15, 16, 17].

3.2.1. Физико-химические параметры почв исследуемых участков 2010-2011 гг.

В таблице 5 приведены показатели основных физико-химических свойств почв исследуемых участков (кислотность, содержание гумуса и карбонатов, сумма солей в водной вытяжке и механический состав (содержание физической глины)).

Полученные значения pH, содержание обменно-поглощенных катионов Mg и гумуса почв разных участков отличаются, в свою очередь небольшой разброс данных отмечается и в пределах одного участка для разных точек, что указывает на отсутствие полной идентичности свойств исследуемых почв

(обычное явление, наблюдаемое в естественных природных условиях).

В целом почвы имеют слабощелочную или щелочную среду – pH от 7,1 до 8,1. Содержание гумуса в основном в пределах 2,0-4,0%. В поверхностных горизонтах сумма легкорастворимых солей менее 0,1%, что позволяет их отнести к незасоленным почвам. Среди поглощенных оснований наблюдается абсолютное преобладание содержания Ca над Mg, что для большинства различных типов почв является нормой.

3.2.2. Формы нахождения радионуклидов в исследуемых почвах

В таблицах 6 и 7 приведены данные по формам нахождения радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am в почвах исследуемых участков.

Как показывают результаты, в почвах всех рассматриваемых участков площадки «Опытное поле» преобладающее содержание радионуклида ^{137}Cs отмечается в прочносвязанной форме. В большинстве случаев доля водорастворимой, обменной, органической и подвижной форм не превышает 1% от содержания прочносвязанной формы. Однако были выявлены участки, в которых отмечается повышенное содержание растворимых форм радионуклида. К ним можно отнести т.2 участка 2010 г. и т.5 участка 2011 г., где содержание обменной формы радионуклида ^{137}Cs от содержания прочносвязанной формы достигает 1,2 % и 0,8 % соответственно. Необходимо отметить, что даже в пределах одного участка содержание различных форм нахождения ^{137}Cs в почве отличается. Полученные данные свидетельствуют о неравномерном распределении ^{137}Cs в почвах на территории участков.

Таблица 4 – Метеорологические данные погоды на исследуемой территории за 2010-2011 гг.

Природный фактор	Месяц									
	Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Октябрь	
	2010 г.	2011 г.	2010 г.	2011 г.	2010 г.	2011 г.	2010 г.	2011 г.	2010 г.	2011 г.
Среднемесячная температура, °C	23,1	21,3	21,1	21,4	21,5	18,7	12,8	13,9	9,5	9,5
min-max, °C	12-39	10,8-35,6	11-36	8-36,5	5,2-37,4	4,8-32,6	-3,4-36,2	-1,7-29,7	-3-25,3	-3-25,3
Осадки, мм	—	72,1	—	8,4	8,6	22,1	0	16,3	40,1	40,1
Среднемесячная скорость ветра (max), м/с	—	2,9	—	2,5	2,9	2,8	2,7	2,2	2,0	2,0
max, м/с	—	21,9	—	19,2	—	16,1	—	17,4	18,8	18,8
Преобладающее направление ветра	—	E	—	SW	SW	SE	SW, S	SE	NE	NE

Примечание: «—» – измерения не проводились

Таблица 5 – Физико-химические свойства исследуемых почв (слой 0-5 см) [18]

Место отбора	Точка отбора	pH	Гумус, %	Сумма солей в водной вытяжке, %	Ca ²⁺ обменный, мг-экв на 100 г почвы	Mg ²⁺ обменный, мг-экв на 100 г почвы	Сумма обменных Ca ²⁺ и Mg ²⁺ , мг-экв на 100 г почвы	Карбонаты, %	Мех. состав, %
участок 2010 г.	1	8,0	2,0	0,047	13	0,6	13,6	1,0	42,4
	2	8,1	2,2	0,034	12,8	0,8	13,6	0,9	36,5
	среднее	8,1	2,1	0,041	12,9	0,7	13,6	0,95	39,4
участок 2011 г.	3	7,5	4,7	0,032	10,4	2,8	13,2	0,03	39,9
	4	7,8	4,0	0,04	7,6	2,8	10,4	0,02	42,0
	5	7,3	6,1	0,035	14	2,8	16,8	0,2	42,5
	6	7,1	3,2	0,05	11,4	1,8	13,2	Нет	40,7
	среднее	7,4	4,5	0,039	10,8	2,6	13,4	0,08	41,3

К ВОПРОСУ О ВАРИАТИВНОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В РАСТЕНИЕВОДЧЕСКУЮ ПРОДУКЦИЮ ПРИ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВЕ НА ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ» ТЕРРИТОРИИ СИП

Таблица 6 – Содержание форм нахождения радионуклида ¹³⁷Cs в почвах площадки «Опытное поле»

Место отбора	Точка отбора	Содержание радионуклида ¹³⁷ Cs, Бк/кг								
		Водорастворимая (Н ₂ O дист.)		Обменная (1М CH ₃ COONH ₄)		Органическая (0,1н NaOH)		Подвижная (1М HCl)		Прочносвязанная
		Бк/кг	%*	Бк/кг	%*	Бк/кг	%*	Бк/кг	%*	
участок 2010 г.	1	<7,5	<0,4	<7,5	<0,4	<8,0	<0,4	9,0±2,0	0,5	1800±200
	2	<3,0	<0,09	40,0±10,0	1,2	10,0±2,5	0,3	13,0±4,5	0,4	3200±300
участок 2011 г.	3	<7,5	<0,9	<5,0	<0,6	<6,0	<0,7	<4,5	<0,6	810±80
	4	14,5±4,5	1,0	<10,0	<0,7	<5,5	<0,4	<7,5	<0,5	1500±200
	5	<5,0	<0,1	32,5±3,5	0,8	<8,5	<0,2	<17,5	<0,4	4300±400
	6	1,85±0,95	0,3	6,4±1,2	1,0	<1,85	<0,3	2,8±1,2	0,4	650±20

Примечание: %* – доля от прочносвязанной формы; «<» – ниже пределов обнаружения измерительной аппаратуры

Таблица 7 – Содержание форм нахождения радионуклида ²⁴¹Am в почвах площадки Опытное поле»

Место отбора	Точка отбора	Содержание радионуклида ²⁴¹ Am, Бк/кг								
		Водорастворимая (Н ₂ O дист.)		Обменная (1М CH ₃ COONH ₄)		Органическая (0,1н NaOH)		Подвижная (1М HCl)		Прочносвязанная
		Бк/кг	%*	Бк/кг	%*	Бк/кг	%*	Бк/кг	%*	
участок 2010 г.	1	< 4,5	<0,3	< 4,5	<0,3	< 5,0	<0,3	320±65	21,3	1500±200
	2	< 2,0	<0,6	11±2	3,1	6,0±1,0	1,7	50±5	13,9	360±40
участок 2011 г.	3	< 4,5	<0,1	< 5,0	<0,2	< 4,5	<0,1	50±5	1,6	3200±300
	4	< 4,5	<0,1	< 5,0	<0,1	14,0±2,5	0,4	130±15	3,8	3400±300
	5	6,0±2,5	0,1	< 4,5	<0,1	< 5,0	<0,1	275±15	4,1	6700±700
	6	12,7±1,05	0,4	3,9±0,8	0,1	27,5±1,7	0,9	1245±7	38,9	3200±20

Примечание: %* – доля от прочносвязанной формы; «<» – ниже пределов обнаружения измерительной аппаратуры

²⁴¹Am в отличие от ¹³⁷Cs в почвах площадки «Опытное поле» характеризуется большей растворимостью. Так, наряду с преобладанием прочносвязанной формы радионуклида отмечается значительное содержание радионуклида в составе подвижной формы. Содержание подвижной формы радионуклида в почве достигает 38,9 % от прочносвязанной формы. Содержание водорастворимой, обменной и органической форм радионуклида ²⁴¹Am в большинстве случаев менее предела обнаружения методики, однако в отдельных случаях водорастворимая форма радионуклида достигает 0,4 % от прочносвязанной формы, обменная – 3,1 % и органическая – 0,9 % соответственно. Для ²⁴¹Am наблюдается схожая картина, как и с ¹³⁷Cs, в распределении форм в почвах одного участка. Неравномерность распределения различных форм нахождения радионуклидов не только на разных участках, но и на разных точках в пределах одного участка, может являться следствием различий отдельных физико-химических параметров

почв. Однако, несмотря на то, что в отдельных случаях отмечается превышение содержания отдельных форм радионуклидов, в целом же в почвах исследуемых участков содержание различных форм нахождения ²⁴¹Am и ¹³⁷Cs сравнимо.

3.3. Оценка урожайности и общее развитие экспериментальных сельскохозяйственных культур

Практически все растения на экспериментальных участках, не достигли своих стандартных размеров. Погодные условия, поздние сроки посадки и режим полива удлинители сроки всходов растений и сказались на их развитии.

В ходе эксперимента были получены количественные данные собранной растительной продукции и рассчитаны урожайности исследуемых культур. В таблице 8 представлены обобщенные данные по урожайности некоторых с/х культур за 2010-2011 гг. и степень созревания урожая.

Таблица 8 – Урожайность некоторых сельскохозяйственных культур, кг/м²

С/х культуры	Урожайность 2010 г.	Степень созревания	Урожайность 2011 г.	Степень созревания	Средняя урожайность по СНГ и РК, кг/м ²
томат	0,45	+++	0,34	+++	4,05
баклажаны	0,16	+++	0,47	+++	3,00
перец	0,47	+++	0,03	++	1,70
картофель	2,77	+++	0,99	+++	1,55
капуста	0,52	+	1,86	++	2,76
морковь	1,44	++	0,11	++	1,88
лук (луковица)	0,90	+++	0,35	++	1,50
лук (семена)	0,25	+++	0,003	++	1,80
арбуз	0,15	+	2,64	++	1,01
тыква	—	—	2,11	++	3,5
подсолнечник	—	++	0,09	++	0,1
пшеница	0,023	+++	—	—	0,05

Примечание: «—» – данных нет; «+» – начальная фаза созревания (формирование и рост плода, образование кочана); «++» – фаза созревания (увеличение массы плода, корнеплода и луковицы, образование кочана с неплотно сомкнутыми листьями); «+++» – полное созревание (полная спелость зерна).

К ВОПРОСУ О ВАРИАТИВНОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В РАСТЕНИЕВОДЧЕСКУЮ ПРОДУКЦИЮ ПРИ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВЕ НА ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ» ТЕРРИТОРИИ СИП

Результаты, полученные в 2010-2011 гг. показали, что выращивание большинства с/х культур на светло-каштановых почвах в условиях засушливого климата территории СИП проблематично и не позволит получить даже средних показателей урожайности исследуемых растений. Одним из объяснений этому почвенно-климатические условия: бедные гумусом почвы, соленые грунтовые воды, малое количество осадков, постоянные ветра. Выращивание и получение продукции пшеницы, томата, баклажан, капусты, арбузов и картофеля на почвах исследуемой территории возможно лишь при организации искусственного орошения пресной водой, агротехнической обработки почвы, защитных мероприятий (от солнца, от ветра и вредителей) и улучшения плодородия почвы (внесение удобрений). Урожайности остальных культур (перец, морковь, лук) оказались менее стабильными и зависящими от погодных условий региона, сроков посадки и режима полива.

3.4. Коэффициенты накопления техногенных радионуклидов в сельскохозяйственных растениях, выращенных в условиях радиоактивного загрязнения

Полученные величины удельной активности (далее «УА») радионуклидов в исследуемых растениях и почвах представлены в таблице 9.

На основании полученных значений УА рассчитаны коэффициенты накопления (Кн) ^{241}Am и ^{137}Cs для исследуемых растений. Обобщенные данные Кн за 2010-2011 гг. представлены в таблице 10.

Таблица 9 – Удельная активность в растительных и почвенных пробах 2011 года

Вид растения	Тип пробы	Удельная активность, Бк/кг (в воздушно-сухом состоянии)	
		^{241}Am	^{137}Cs
томат	плоды	<0,2	4 ± 1
	листья	12 ± 2	<3
	стебли	<3	<0,9
	корни	400 ± 80	150 ± 10
	почва	1690 ± 340	390 ± 80
баклажаны	плоды	<0,7	10 ± 2
	листья	27 ± 5	<3
	стебли	1,3 ± 0,2	<1,1
	корни	21 ± 4	<3
	почва	1280 ± 260	230 ± 230

Вид растения	Тип пробы	Удельная активность, Бк/кг (в воздушно-сухом состоянии)	
		^{241}Am	^{137}Cs
перец	плоды	<3	<1,1
	стебли	4 ± 1	<2,3
	корни	20 ± 4	4,4 ± 0,6
	почва	2230 ± 450	450 ± 90
картофель	листья	13 ± 2	4,4 ± 0,6
	стебли	16 ± 3	2,1 ± 0,4
	корни	3,1 ± 0,3	<0,6
	клубни (мякоть)	0,8 ± 0,1	0,5 ± 0,1
	клубни (кожура)	2,6 ± 0,5	1,5 ± 0,2
	почва	2020 ± 400	250 ± 50
	почва	2020 ± 400	250 ± 50
капуста	листья	1,8 ± 0,3	<1,1
	стебли (кочерыжка)	1,3 ± 0,3	<0,6
	корни	24 ± 5	<3
	почва	2200 ± 400	400 ± 80
морковь	листья	7 ± 1	<2
	корнеплод	5 ± 1	<0,8
	почва	890 ± 180	150 ± 30
лук (семена)	листья	<3,5	29 ± 6
	луковицы	<15	<27
	почва	1800 ± 400	320 ± 60
лук (севок)	листья	2,4 ± 0,3	2,6 ± 0,5
	луковицы	<0,7	<1,4
	почва	1800 ± 400	300 ± 60
арбуз	плоды	<0,4	<0,4
	листья	<1,2	<1,4
	стебли	64 ± 13	<3
	корни	6 ± 1	<3,3
	почва	1330 ± 270	280 ± 60
тыква	плоды	<0,4	<0,5
	листья	5 ± 1	<0,8
	стебли	1,13 ± 0,22	<0,4
	корни	8,3 ± 1,7	<3,1
	почва	3580 ± 720	550 ± 110
огурцы	плоды	<0,3	<0,5
	листья	24 ± 5	1,6 ± 0,2
	стебли	6 ± 1	<1,7
	корни	16 ± 3	<7
	почва	2270 ± 450	330 ± 70
подсолнечник	семена	<1,5	<1,4
	корзина	<0,4	<0,7
	листья	19 ± 4	0,6 ± 0,1
	стебли	4 ± 1	2,5 ± 0,3
	корни	12 ± 2	<1,5
пшеница	почва	750 ± 150	140 ± 30
	стебли	61 ± 12	2,9 ± 0,8
	корни	160 ± 30	43 ± 9
	почва	1800 ± 400	290 ± 60
ячмень	стебли	70 ± 14	26 ± 5
	корни	90 ± 18	50 ± 10
	почва	4830 ± 970	1060 ± 210

Таблица 10 – Кн радионуклидов для исследуемых с/х культур за 2010-2011 гг.

Сельскохозяйственная культура	Тип пробы	^{241}Am , н·10 ⁻³			^{137}Cs , н·10 ⁻³		
		2010 г.	2011 г.	Кн2011 Кн2010	2010 г.	2011 г.	Кн2011 Кн2010
томат	плоды	0,23	<0,12	<0,52	2,0	10,3	5,1
	листья	4,5	7,1	1,6	22,0	<7,7	<0,35
	стебли	1,1	<1,8	<1,6	6,0	<2,3	<0,38
	корни	24,5	236,7	9,7	100,0	384,6	3,8
баклажан	плоды	—	<0,5	—	—	43,5	—
	листья	6,8	21,1	3,1	41,5	<13,0	<0,31
	стебли	1,0	1,0	1,0	4,6	<4,8	<1,1
	корни	2,6	16,4	6,3	14,7	<13,0	<0,88

К ВОПРОСУ О ВАРИАТИВНОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В РАСТЕНИЕВОДЧЕСКУЮ ПРОДУКЦИЮ ПРИ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВЕ НА ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ» ТЕРРИТОРИИ СИП

Сельскохозяйственная культура	Тип пробы	²⁴¹ Am, н·10 ⁻³			¹³⁷ Cs, н·10 ⁻³		
		2010 г.	2011 г.	Кн2011 Кн2010	2010 г.	2011 г.	Кн2011 Кн2010
перец	плоды	0,75	<1,3	<1,8	2,1	<6,7	<3,2
	листья	3,6	—	—	22,3	—	—
	стебли	2,5	1,8	0,7	12,4	<6,7	<0,54
	корни	2,2	9,0	4,0	18,3	9,8	0,53
картофель	листья	4,5	6,4	1,4	94,4	17,6	0,19
	стебли	0,61	7,9	12,9	19,4	8,4	0,43
	корни	11,6	1,5	0,13	116,7	<2,4	<0,02
	клубни (мякоть)	<0,082	0,4	>4,9	2,8	2,0	0,72
	клубни (кожура)	<0,082	1,3	>15,7	6,7	6,0	0,90
капуста	листья	0,77	0,82	1,1	8,2	<2,8	<0,34
	стебли	2,9	0,59	0,2	14,1	<1,5	<0,11
	корни	12,1	10,9	0,9	59,5	<7,5	<0,13
морковь	листья	1,7	7,9	4,6	15,2	<13,3	<0,88
	корнеплоды	1,6	5,62	3,5	6,7	<8,7	<1,3
лук репчатый (семена)	листья	35,1	<1,9	<0,05	54,5	90,6	1,7
	луковицы	12,3	<8,3	<0,68	41,8	<84,4	<2,0
лук репчатый (севок)	листья	1,5	1,3	0,87	7,5	8,7	1,2
	луковицы	2,0	<0,4	<0,19	11,0	<4,7	<0,43
арбуз	плоды	0,25	<0,3	<1,2	2,3	<1,4	<0,61
	листья	—	<0,9	—	—	<5,0	—
	стебли	10,0	48,1	4,8	40,5	<10,7	<0,26
	корни	6,4	4,5	0,70	24,1	<11,8	<0,49
дыня*	плоды	0,73	<0,1	<0,14	2	<0,9	<0,45
	листья	—	1,4	—	—	<1,45	—
	стебли	5,4	0,32	0,059	23,3	<0,73	<0,03
	корни	2,6	2,3	0,89	10,8	<5,6	<0,52
огурцы	плоды	—	<0,13	—	—	<1,5	—
	листья	—	10,6	—	—	4,8	—
	стебли	—	2,6	—	—	<5,2	—
	корни	—	7,0	—	—	<21,2	—
	семена	—	<2,0	—	—	<10,0	—
подсолнечник	корзина	2,0	<0,5	<0,25	14,5	<5,0	<0,34
	листья	3,7	25,3	6,8	29,5	4,3	0,15
	стебли	0,6	5,3	8,9	9,7	17,9	1,8
	корни	4,9	16	3,3	31,3	<10,7	<0,34
	зерно	<3,3	—	—	3,6	—	—
пшеница	пленка зерна	5,7	—	—	6,2	—	—
	стебли	<6,1	33,9	>5,6	27,7	10,0	0,36
	корни	14,5	88,9	6,1	99,1	148,3	1,5
ячмень	стебли	2,8	14,5	5,2	16,7	24,5	1,5
	корни	17,2	18,6	1,1	103,3	47,2	0,46
Среднее геометрическое**		3,0	5,7	1,8	15,5	17,6	0,9

Примечание: Кн2011/Кн2010 – отношение Кн за 2011 г. к Кн за 2010 г.; «—» – Кн не были рассчитаны из-за отсутствия количественных значений УА; «*» – сравнение с данными тыквы урожая 2011 г.; «**» – рассчитывались данные с количественными значениями и не учитывались оценочные (<).

Кн ²⁴¹Am в среднем за 2010-2011 гг. меньше Кн ¹³⁷Cs в 2,0 раза (сравнение средней геометрической). Кн ²⁴¹Am полученные в 2011 г. больше чем Кн ²⁴¹Am за 2010 г. почти в 2 раза. Кн ¹³⁷Cs в 2010-2011 гг. соизмеримы.

Для количественной оценки разницы в накоплении радионуклидов исследуемыми растениями в 2010 г. были рассчитаны отношения Кн ¹³⁷Cs / Кн ²⁴¹Am (11,3). Таким образом, если коэффициент накопления ²⁴¹Am для исследуемых растений принять за единицу, то можно составить следующий убывающий ряд:

$$\frac{\text{Кн } ^{137}\text{Cs}}{11,3 \pm 2,7} > \frac{\text{Кн } ^{241}\text{Am}}{1}$$

По полученным в 2011 г. данным были рассчитаны отношения Кн ¹³⁷Cs / Кн ²⁴¹Am (2,3). Таким образом, если коэффициент накопления ²⁴¹Am для исследуемых растений принять за единицу, то можно составить следующий убывающий ряд:

двух растений принять за единицу, то можно составить следующий убывающий ряд:

$$\frac{\text{Кн } ^{137}\text{Cs}}{2,3 \pm 0,5} > \frac{\text{Кн } ^{241}\text{Am}}{1}$$

В целом как в 2010 г., так и в 2011 г. превышение значений Кн ¹³⁷Cs над Кн ²⁴¹Am сохранило ту же тенденцию, но при этом в 2011 г. отношения Кн гораздо ниже значений 2010 г.

Для всех исследованных с/х растений диапазон Кн ²⁴¹Am в 2010 г. составил 2,0·10⁻⁴–35,0·10⁻³ и в 2011 г. – 3,0·10⁻⁴–240·10⁻³. Диапазон Кн ¹³⁷Cs для растений в 2010 г. составил 2,0·10⁻³–120,0·10⁻³ и в 2011 г. – 2,0·10⁻³–380,0·10⁻³. Полученные Кн исследуемых радионуклидов для с/х растений 2010–2011 гг. различаются (в разы), однако находятся в одном числовом порядке и сравнимы с данными международного справочника МАГАТЭ [2].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для почв исследуемых участков на пл. П-2 «Опытного поля» были выявлены различия по некоторым физико-химическим параметрам: pH, содержанию обменно-поглощенных катионов Mg и гумуса, которые указывают на отсутствие полной идентичности свойств почв, что является обычным явлением наблюдаемым в естественных природных условиях.

При постановке натурного эксперимента (в естественных природных условиях), в отличие от лабораторных экспериментов, сложно учесть влияние всех факторов влияющих на результаты исследований и в этом случае говорить об идентичности полученных данных исследуемых параметров нельзя, так как они будут отличаться. В связи, с чем по ряду культур в 2011 г. нами были получены абсолютно новые данные.

По каждому отдельному виду исследуемых культур накопление ^{241}Am и ^{137}Cs в хозяйственно-ценной части с/х культур следующее: наименьшее накопление радионуклидов в растениях отмечается для плодов и клубней пасленовых (перца, картофеля и томата (^{241}Am)), плодов тыквенных (арбуз и дыня), а вот наибольшие значения накопления радионуклидов отмечаются для листьев лилейных (лук (семенами)), корнеплодов сельдерейных (морковь) и листьев капустных (^{137}Cs). Полученные данные Кн радионуклидов для хозяйственно-ценной части с/х растений (плоды, зерно, семена, корнеплоды и листья) позволяют составить следующий убывающий ряд:

- по ^{241}Am – **лилейные > сельдерейные ≥ капустные ≥ пасленовые ≥ тыквенные;**
- по ^{137}Cs – **лилейные > капустные ≥ сельдерейные ≥ злаковые ≥ пасленовые ≥ астровые ≥ тыквенные.**

Кн радионуклидов для листьев лилейных на порядок больше полученных значений Кн для хозяйственно-ценной части остальных с/х культур.

В целом по результатам 2010-2011 гг.:

- для растений семейства злаковые (пшеница и ячмень) наименьшие величины накопления ^{241}Am и ^{137}Cs получены для плодов и стеблей, а большие для корней растений. Характер распределения данных радионуклидов в органах растений семейства злаковых схож и представляет следующий убывающий ряд: **корни > надземная часть > зерно;**

- для растений семейства сельдерейные (морковь) наименьшие величины накопления ^{241}Am и ^{137}Cs получены для корнеплодов, а большие для листьев растений. Характер распределения данных радионуклидов в органах растений семейства сельдерейных схож и представляет следующий убывающий ряд: **надземная часть > корнеплоды;**

- для растений семейства лилейные (лук) распределение ^{241}Am и ^{137}Cs (2010 г.) в органах растений следующий - **листья > луковичы (семена); луковичы > листья (севок),** то характер распределе-

ния ^{241}Am и ^{137}Cs в 2011 г. не подтвердить, так как не были получены количественные значения для луковиц лука;

- для растений семейства пасленовые (томат, перец, баклажан) полученные величины Кн ^{241}Am и ^{137}Cs близки по значениям и находятся в одном порядковом диапазоне (исключение Кн ^{241}Am и ^{137}Cs для корней томата (2011 г.)). Характер распределения данных радионуклидов в органах растений семейства пасленовые схож для баклажан и перца: **листья > корни > стебли > плоды.** Ситуация с томатом немного отличается по Кн ^{241}Am : **корни > листья > стебли > плоды,** а вот по Кн ^{137}Cs характер распределения в растениях следующий: **корни > листья > стебли ≥ плоды (2010 г.) и корни > плоды ≥ листья ≥ стебли (2011 г.);**

- для растений семейства тыквенные (арбуз, дыня, тыква) наименьшие величины накопления ^{241}Am и ^{137}Cs получены для плодов, а наибольшие для надземной части растений (стебли 2010 г.) и для корней в 2011 г.. Характер распределения данных радионуклидов в органах растений семейства тыквенных (арбуз, дыня – 2010 г. и арбуз, тыква и огурцы – 2011 г.) представляет следующий убывающий ряд: **надземная часть (стебли) > корни > плоды (2010 г.); корни > надземная часть > плоды (2011 г.).**

- полученные величины Кн ^{241}Am и ^{137}Cs для растений семейства астровые (подсолнечник) отличаются по значениям, но в целом по растениям наименьшее накопление ^{241}Am отмечается для стеблей и соцветий, а наибольшее для корней и листьев, соответственно распределение по органам будет следующим: **листья ≥ корни > корзина ≥ стебли ≥ семена.** По накоплению ^{137}Cs в подсолнечнике данные неоднозначны: минимальные значения отмечаются для стеблей (2010 г.) и листьев (2011 г.), а максимальные – корни (2010 г.) и стебли (2011 г.) и поэтому представить какую-либо ясную картину характера распределения ^{137}Cs не представляется возможным;

- для растений семейства пасленовые (картофель) распределение ^{241}Am и ^{137}Cs в органах растений следующее: наименьшее в клубнях (мякоть и кожура), а наибольшее в корнях (2010 г.) и стеблях (2011 г.) Недостаточное количество данных по Кн радионуклидов для картофеля не позволяет представить действительную картину накопления, но ясно одно, что накопление в основной продукции (клубни) картофеля происходит значительно меньше (один-два порядка), чем в надземной части и корнях;

- для растений семейства капустные (капуста) распределение ^{241}Am и ^{137}Cs в органах растений следующее: **корни > надземная часть (листья+стебли).** Различные данные для листьев и стеблей капусты, выращенной в разные года (2010 г. и 2011 г.) может быть связано с разной спелостью растительной продукции: в 2010 г. – сбор, подготовка и анализ капусты не образовавшей кочаны, а в 2011 г. – образо-

вавшей кочаны, что подводит к мнению о возможном влиянии разных стадий развития (вегетации) растений на Кн.

Выводы

В целом, данные Кн радионуклидов в 2010-2011 гг. отличаются незначительно и разница значений Кн по ^{241}Am и ^{137}Cs не превышает одного порядка, но при этом о стабильности и полной идентичности данных, полученных на разных участках, говорить с уверенностью нельзя.

Для всех исследованных радионуклидов в растительных образцах установлено, что ^{137}Cs накапливается интенсивнее ^{241}Am .

Установлено и подтверждено, что в хозяйственно-ценной части растений накопление радионуклидов происходит меньше всего.

Наименьшие Кн ^{241}Am и ^{137}Cs в плодах и клубнях отмечаются для растений семейства тыквенные и пасленовые, а вот наибольшие значения содержания радионуклидов отмечаются для растений семейства лилейные (листья лука). Кн радионуклидов для ли-

стьев лилейных на порядок больше полученных значений Кн для хозяйственно-ценной части остальных с/х культур.

Распределение ^{241}Am и ^{137}Cs в органах растений семейства злаковые, капустные, пасленовые (томат) и лилейные (севок) носит акропетальный (корневой) характер, а для растений семейства сельдерейные, тыквенные, пасленовые (перец и баклажан) и лилейные (семена) – базипетальный характер (листо-стеблевой).

Недостаточные данные особенностей накопления ^{241}Am и ^{137}Cs растениями семейства лилейные, астровые и пасленовые (картофель) требуют дальнейшего подробного изучения.

Необходимо продолжить дальнейшие исследования особенностей накопления в растениеводческой продукции на радиоактивно-загрязненной территории с учетом влияния дополнительных факторов (виды удобрений, режим полива, сортовые отличия и фазы развития растений).

ЛИТЕРАТУРА

1. Фесенко С.В. Динамика снижения коэффициентов перехода в сельскохозяйственные растения после аварии на Чернобыльской АЭС / С.В. Фесенко С.В., Н.И. Санжарова, К.Б. Лисянский, Р.М. Алексахин // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1998. – Т. 38, вып. 2. – С. 256–265.
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments, IAEA-TECDOC-1616, Vienna: IAEA, 2009. С. 155–178.
3. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011 г.] / под рук. С.Н. Лукашенко. – Павлодар: Дом печати, 2011, Вып.3. – Т.2. – 396 с.
4. Отчет о научно-технической деятельности Института радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, выполненного в составе мероприятия 1 «Реализация научно-технической программы развития атомной энергетики в республике Казахстан» за 2010 г. – г. Курчатов, 2010. – С. 13–14.
5. Найдин П. Г. Полевой опыт / Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Колос, 1967. – С. 120–130.
6. RFCA RATINGS Анализ растениеводства Республики Казахстан. – 2010. – URL: http://www.rfcaratings.kz/reports/Agro_sector_report.pdf
7. Инструкция и методические указания по наземному обследованию радиационной обстановки на загрязненной территории: утв. Межведомственной комиссией по радиационному контролю природной среды при Госкомгидромете СССР. – М., 1989.
8. Сборник методических указаний по лабораторным исследованиям почв и растительности Республики Казахстан / под рук. Дюсенбекова З.Д.; Государственный научно-производственный центр земельных ресурсов и землеустройства. – Алматы, 1998. – 222 с.
9. ГОСТ 17.5.4.01–84. Метод определения pH водной вытяжки вскрышных и вмещающих пород. Охрана природы. Рекультивация земель. – Введ. 01.07.85. – М.: Изд. Стандартов, 1985.
10. Минеев В.Г. Практикум по агрохимии – М.: МГУ, 2001. – 268 с.
11. МИ 5.06.001.98 РК «Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре МИ 2143-91» – 18 с.
12. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного бета-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс», Менделеево, – 20 с.
13. Анненков Б.Н. Основы сельскохозяйственной радиологии/ Б.Н. Анненков, Е.В. Юдинцева. – Москва, 1991. – С. 56–83.
14. Отчет о научно-технической деятельности Института радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, выполненного в составе мероприятия 1 «Реализация научно-технической программы развития атомной энергетики в республике Казахстан» за 2011 г. – г. Курчатов, 2011. – С. 14–16.
15. Сельскохозяйственная радиоэкология / под редакцией академика ВАСХНИЛ Р.М. Алексахина и академика ВАСХНИЛ Н.А. Корнеева, Москва «Экология» 1991. – с. 54–79.
16. Санжарова Н.И. Формы нахождения в почвах и динамика накопления ^{137}Cs в сельскохозяйственных культурах после аварии на Чернобыльской АЭС / Н.И. Санжарова, С.В. Фесенко, К.Б. Лисянский, В.К. Кузнецов, Т.Н. Абрамова, В.А. Котик // Почвоведение, 1997, № 2, с. 159–164.
17. Горина Л.И. Накопление радиоцезия сельскохозяйственными культурами в зависимости от свойств почв и биологических особенностей растений: Автореф. дис. канд. наук. – М. 1976. – 17 с.

18. Отчет о научно-технической деятельности Института радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, выполненного в составе мероприятия 1 «Реализация научно-технической программы развития атомной энергетики в Республике Казахстан» за 2011 г. – г. Курчатов, 2011. – С. 15–20.

**ССП АУМАҒЫНДАҒЫ «ТӘЖІРІБЕ ДАЛАСЫ» АЛ. ӨНДІРІЛГЕН ЖАҒДАЙДА
ӨСІМДІК ШАРУАШЫЛЫҒЫ ӨНІМІНЕ ЖАСАНДЫ РАДИОНУКЛИДТЕРДІҢ
ТҮСУІНІҢ ҚҰБЫЛМАЛЫҒЫ МӘСЕЛЕСІНЕ**

Қожаханов Т.Е., Лукашенко С.Н., Құндызбаева А.Е., Магашева Р.Ю.

ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан

Аталған мақалада, бұрынғы ССП аумағының радиоактивті ластанған жағдайында ауылшаруашылығы дақылдарында радионуклидтердің жинақталуын зерттеу бойынша табиғи тәжірибені қою және өткізу бойынша ортақ ақпарат ұсынылды. Зерттеудің мақсаты радиоактивті-ластанған аумақта өсірілетін түрлі ауылшаруашылығы өсімдіктерінің жасанды радионуклидтерді жинақтау ерекшелігін зерттеу болатын. Жұмыстардың нәтижесінде зерттеліп жатқан өсімдіктердің вегетативті және генеративті мүшелерінде техногенді радионуклидтердің жинақталу және таралу ерекшеліктері анықталды. ССП аумағының бір бөлігін шаруашылықта пайдалану мүмкіндігін бағалау барысында, өсімдік шаруашылығы өнімдерінде жинақталуын анықтау мақсатында ^{137}Cs , ^{241}Am , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ радионуклидтерінің шоғырлануын болжау үшін қажетті коэффициенттері алынды.

**ON THE VARIABILITY OF ARTIFICIAL RADIONUCLIDES INTAKE IN CROP PRODUCTS
BEING PRODUCED AT “EXPERIMENTAL FIELD” SITE OF THE STS**

T.E. Kozhakhonov, S.N. Lukashenko, A.E. Kunduzbaeva, R.Y. Magasheva

Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

This paper provides general information about the formulation and implementation of a natural experiment to study the accumulation of radionuclides in farm crops in conditions of radioactive contamination in the former STS. The goal was to study the peculiarities of artificial radionuclides accumulation in different species of farm crops grown in radioactively contaminated areas. The research revealed peculiarities of accumulation and distribution of radionuclides in the vegetative and generative organs of the studied plants. The transfer factors were obtained for ^{137}Cs , ^{241}Am , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ for crop products needed to predict the concentrations of these radionuclides in assessing the feasibility of STS lands transfer for economic use.

УДК 577.4:504.4.054:581.5:546.11.02.3

СОДЕРЖАНИЕ ТРИТИЯ В РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ РЕКИ ШАГАН

Ларионова Н.В., Лукашенко С.Н., Ляхова О.Н., Айдарханов А.О., Янкаускас А.Б.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В статье приведены данные о содержании радионуклида ^3H в растительном покрове русла реки Шаган и прилегающих к нему территорий. Рассмотрена динамика содержания ^3H в разные годы. Установлено, что на данный момент основное загрязнение ^3H растительного покрова приурочено непосредственно к руслу реки Шаган, причем непосредственно на территории СИП, и не обнаружено на прилегающих территориях.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы на некоторых участках бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП) выявлены высокие концентрации радионуклида ^3H в грунтовых водах. Неоднократно установлено, что и растения, произрастающие в зонах загрязненных ^3H грунтовых вод, также содержат ^3H [1, 2, 3].

Одним из таких неблагополучных участков является зона русла реки Шаган. Основная проблема данного объекта на сегодняшний день заключается в высоких концентрациях радионуклида ^3H в компонентах природной среды, наиболее вероятно поступающих, в подземные и поверхностные воды реки Шаган из района «боевых» скважин площадки «Балапан» в 4-5 км от «Атомного» озера [2]. Многочисленные исследования показали, что удельная активность ^3H в грунтовых, в частности в поровых водах (глубина залегания 3-7 м), в районе русла реки Шаган достигает 7×10^5 Бк/кг [4]. Повышенное содержание ^3H отмечается и в растительности, произрастающей как в зоне русла реки, так и на прилегающих территориях [2].

До сегодняшнего дня характер распространения загрязненных ^3H грунтовых вод в районе реки Шаган точно не установлен. Особое значение сложившейся ситуации придает возможность миграции ^3H с грунтовыми водами за пределы СИП, в связи с чем, проблема приобретает региональный характер. В этом случае содержание ^3H в растительном покрове в зоне влияния реки Шаган может послужить косвенным показателем для оценки его содержания в грунтовых водах, как в районе русла реки, так и на прилегающих территориях [3].

1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

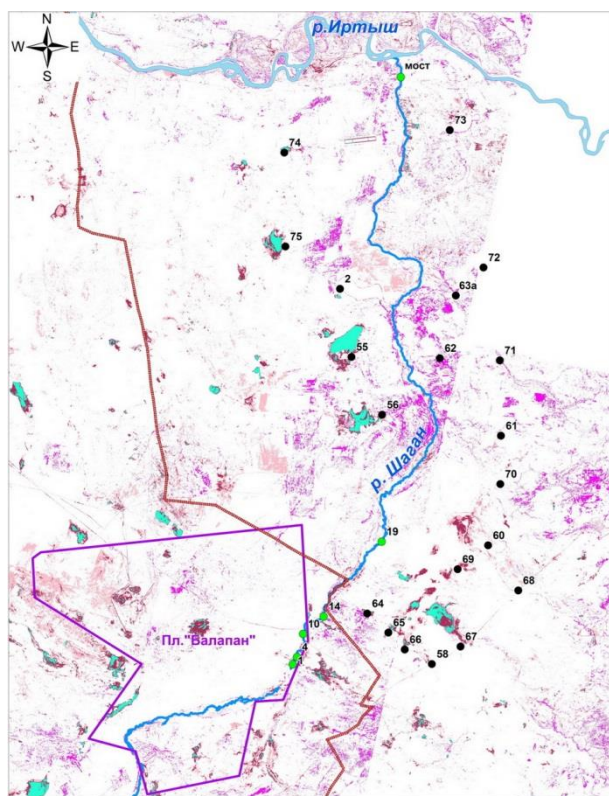
Для оценки содержания ^3H в растениях, произрастающих непосредственно в русле реки Шаган, вдоль по нему на различном расстоянии от «Атомного» озера и до впадения в реку Иртыш в 2007 году заложено 6 исследовательских площадок (рисунок 1, а). Каждая площадка представляет собой участок площадью $\sim 100 \text{ м}^2$, включающий в себя часть русла, уступ и территорию прилегающей террасы. В качестве опытных растений выбраны: тростник

(*Phragmites australis*), произрастающий в воде, волоснец (*Leymus angustus*), распространенный по территории русла, и иногда занимающий уступ, и чий (*Achnatherum splendens*), произрастающий на террасе. Отбор растений произведен в 2007 и в 2008 годах, с площадок 1, 10 и 14 – в 2012 году (дополнительно).

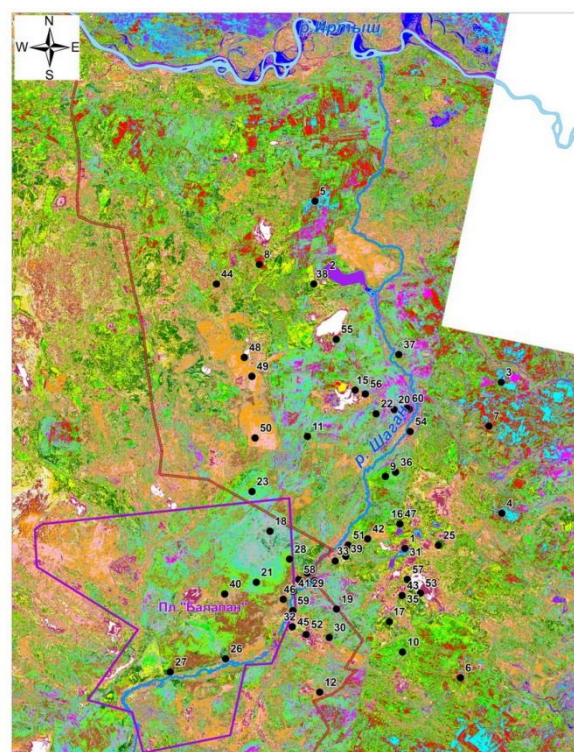
Для изучения концентраций ^3H в растениях на прилегающей территории, находящейся в зоне влияния реки Шаган, предварительно было выполнено дешифрирование космоснимков с последующей полевой заверкой. Всего было выделено 19 основных геоботанических контуров, на которых намечено порядка 50 точек (рисунок 1, б). Во время экспедиционных работ в каждой точке проведено геоботаническое описание с определением растительных сообществ и видового состава растений, уточнением каждого контура [5]. На основании полученных данных выбрано 4 геоботанических контура, характеризующихся определенным типом растительности, указывающим на неглубокое залегание грунтовых вод, на которых заложено 20 исследовательских площадок для отбора проб растений для определения содержания ^3H (рисунок 1, а).

Выбор опытных растений был основан на их классификации по отношению к влаге и способности накопления ^3H в надземной части, выявленной по результатам предыдущих исследований [3]. Так, основными объектами исследования стали представители гигрофитов, имеющих самые высокие требования к воде и поэтому чаще всего произрастающих близ поверхностного водотока (тростник (*Phragmites australis*)), и фреатофитов, обладающих глубоко проникающими корнями, достигающими уровня грунтовых вод и произрастающие на площадях относительно неглубоко их залегания (чий (*Achnatherum splendens*) и солодка (*Glycyrrhiza uralensis*)).

Содержание ^3H определялось в свободной воде надземной части исследуемых видов растений, полученной из конденсата посредством ранее изготовленной специальной установки, представляющей собой герметичную емкость для загрузки проб растений, снабженную охлаждаемой поверхностью и емкостью для сбора влаги, испаряемой растениями [6].



а)



б)

Рисунок 1 – Схема расположения исследовательских площадок для отбора проб растений для определения содержания ^3H (а), геоботанические контура, схема расположения точек геоботанического описания (б)

Измерение удельной активности радионуклида ^3H проводилось в подготовленных образцах методом жидкосцинтилляционной спектрометрии на ЖС-спектрометре TRI-CARB 2900 TR [7].

2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основании обобщения данных, полученных с 2007 по 2012 гг. получены средние, минимальные и максимальные значения удельной активности ^3H в свободной воде растений вдоль русла реки Шаган на различном удалении от «Атомного» озера (рисунок 2).

Из представленного графика видно, что значения удельной активности ^3H в свободной воде растений сильно варьируют на протяжении всего русла реки Шаган – от 0,06 кБк/кг до 79 кБк/кг. При этом уровень вмешательства при поступлении данного радионуклида с водой, согласно приложению 3 ГН СЭТОРБ РК, составляет 7,6 кБк/кг [8]. Максимальные его концентрации отмечаются в районе 5-6 км, что в целом согласуется с результатами по содержанию ^3H в воде данного участка [2]. Определенного внимания заслуживают количественные данные удельной активности ^3H в точке «мост», расположенной в непосредственной близости к реке Иртыш, которые указывают на необходимость более тща-

тельного исследования растительного покрова в русле реки Шаган на отрезке от границы СИП до реки Иртыш.

Для оценки стабильности содержания ^3H в растительном покрове русла реки Шаган проведен сравнительный анализ данных удельной активности ^3H в отдельных видах растений, отобранных в 1-й, 10-й и 14-й точках в течение трех лет (2007, 2008, 2012) (рисунок 3).

Исходя из приведенных данных, можно отметить, что содержание ^3H в растительном покрове в русле реки Шаган неустойчиво. Так, в 2012 году наблюдается определенное снижение концентраций ^3H в свободной воде изучаемых видов растений по сравнению с 2007 и 2008 годами. Подобные изменения концентраций ^3H в растениях в разные годы, прежде всего, могут быть связаны с изменениями его содержания в основных источниках загрязнения – поверхностных, подрусловых и грунтовых водах в этот период.

Для оценки возможного загрязнения ^3H растительного покрова зоны влияния реки Шаган исследованы значения удельной активности радионуклида ^3H в растениях, отобранных с прилегающих к ее руслу территорий (см. таблицу).

СОДЕРЖАНИЕ ТРИТИЯ В РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ РЕКИ ШАГАН



Рисунок 2 – Удельная активность ^3H в свободной воде растений

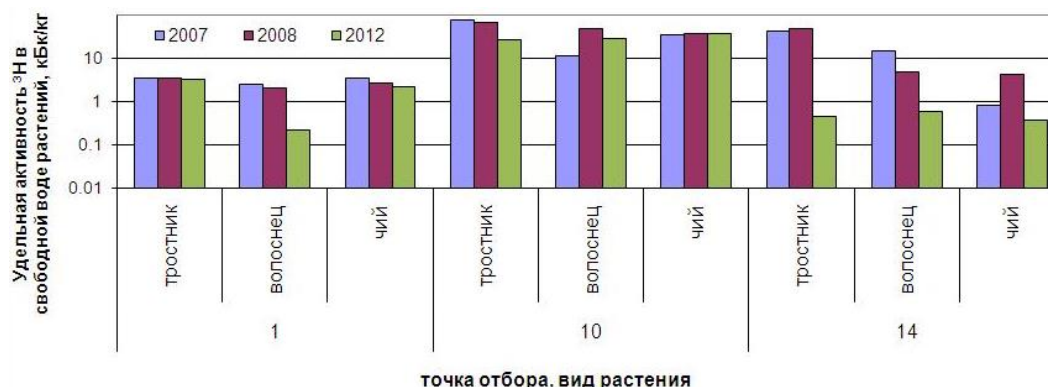


Рисунок 3 – Содержание ^3H в свободной воде растений в разные годы

Таблица – Удельная активность ^3H в свободной воде растений

Точка отбора	Вид растения	Удельная активность, кБк/кг	Точка отбора	Вид растения	Удельная активность, кБк/кг
64	чий (<i>Achnaterum splendens</i>)	<0,011	62	волоснец (<i>Leymus angustus</i>)	<0,012
65	чий (<i>Achnaterum splendens</i>)	<0,011	71	чингил (<i>Halimodendron halodendron</i>)	<0,012
58	волоснец (<i>Leymus angustus</i>)	0,02±0,002	63а	чингил (<i>Halimodendron halodendron</i>)	<0,012
66	чий (<i>Achnaterum splendens</i>)	0,015±0,001	72	чий (<i>Achnaterum splendens</i>)	<0,011
67	чий (<i>Achnaterum splendens</i>)	<0,011	56	полынь (<i>Artemisia sublessingiana</i>)	0,015±0,009
68	солodka (<i>Glycyrrhiza uralensis</i>)	<0,011	55	чий (<i>Achnaterum splendens</i>)	<0,013
60	вейник (<i>Calamagrostis arundinacea</i>)	<0,011	2	волоснец (<i>Leymus angustus</i>)	<0,013
69	волоснец (<i>Leymus angustus</i>)	<0,011	75	полынь (<i>Artemisia sublessingiana</i>)	<0,013
70	чингил (<i>Halimodendron halodendron</i>)	<0,011	74	чий (<i>Achnaterum splendens</i>)	<0,013
61	чий (<i>Achnaterum splendens</i>)	<0,011	73	чий (<i>Achnaterum splendens</i>)	<0,013

Как видно из таблицы, содержание радионуклида ^3H в свободной воде растений на территории, прилегающей к руслу реки Шаган, в абсолютном большинстве случаев находится ниже предела обнаружения используемой аппаратуры (<0,015 кБк/кг). Количественные значения удельной активности получены лишь в единичных случаях (т.58, т.66, т.56), и не превышают 0,02 кБк/кг. Таким образом, на данный момент основное загрязнение ^3H растительного покрова приурочено непосредственно к руслу реки Шаган, причем непосредственно на территории СИП, и не обнаружено на прилегающих территориях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований выявлено, что высокие значения удельной активности ^3H в свободной воде растений отмечаются непосредственно в русле реки Шаган и сильно варьируют на

всем ее протяжении – от 0,06 кБк/кг до 79 кБк/кг. Максимальные концентрации отмечаются в районе 5-6 км от «Атомного» озера. Содержание ^3H в свободной воде растений из года в год нестабильно.

Загрязнение радионуклидом ^3H растительного покрова прилегающих к реке Шаган территорий на сегодняшний день не выявлено. Однако, несмотря на то, что удельная активность ^3H в свободной воде растений здесь в большинстве случаев находится ниже предела обнаружения (<0,015 кБк/кг), наличие количественных значений (до 0,02 кБк/кг) в отдельных случаях нельзя оставлять без внимания. Способность радионуклида ^3H мигрировать с грунтовыми водами, может в будущем привести как к расширению площади с количественными значениями удельной активности последнего, так и к общему повышению его содержания в растительном покрове исследуемой территории.

Авторы статьи выражают благодарность сотрудникам Института радиационной безопасности и экологии Белоусову Р.В., Коровину В.А., Башлыкову М.Л., Попову А.А., Воробьеву А.В., Кондратьеву А.П. за помощь при выполнении экспедиционных работ, Яковенко Ю.Ю., Еременко Е.А. за построение

картографического материала, Субботиной Л.Ф., Немытовой Л.А., Корастелевой С.В. за пробоподготовку растительных образцов и водяных паров воздуха, Тимоновой Л.В. за качественное проведение анализа по определению удельной активности ^3H .

ЛИТЕРАТУРА

1. Субботин С.Б., Лукашенко С.Н. и др. Подземная миграция искусственных радионуклидов за пределы горного массива Дегелен / Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007-2009 гг.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Вып. 2. – Павлодар: Дом печати, 2010. – С. 103-156: ил.- Библиогр.: с. 528. - ISBN 978-601-7112-28-8.
2. Айдарханов А.О., Лукашенко С.Н. и др. Состояние экосистемы р. Шаган и основные механизмы его формирования / Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007-2009 гг.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Вып. 2. – Павлодар: Дом печати, 2010. – С. 9-55: ил.- Библиогр.: с. 528. - ISBN 978-601-7112-28-8.
3. Ларионова Н.В., Ляхова О.Н. и др. Разработка и применение метода оценки загрязнения тритием грунтовых вод по его содержанию в растительном покрове / Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007-2009 гг.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Вып. 2. – Павлодар: Дом печати, 2010. – С. 321-330: ил.- Библиогр.: с. 528. - ISBN 978-601-7112-28-8.
4. Есимбеков А.Ж., Айдарханов А.О. и др. Определение и локализация каналов поступления ^3H в воды реки Шаган / Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011-2012 гг.] / под ред. Лукашенко С.Н. – Вып. 4. – Т. 2 – Павлодар: Дом печати, 2013. – С. 25-41: ил.- Библиогр.: с. 474. - ISBN 978-601-7112-75-2 Т.2
5. Полевая геоботаника – т. 1.-1959.-444 с.; т. 2.-1960.-500 с.; т. 3.-1964.-530 с.; т.4.-1972.-336 с.; т.5.-1976.-320 с. М., Наука.
6. Отчет о научно-технической деятельности Института радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, выполненного в рамках мероприятия 0346 «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» за 2009 год: годовой отчет НТП / ИРБЭ НЯЦ РК; рук. Лукашенко С.Н. – Курчатов, 2009. – 82 с.
7. ISO 9698-1989 /Е/ «Качество воды – определение активности трития, соответствующей данной концентрации – жидкостной метод сцинтилляционного счета».
8. Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» Утверждены постановлением Правительства Республики Казахстан № 201 от 03.02.2012 года.

ШАҒАН ӨЗЕНІНІҢ ӨСЕР ЕТУ АЙМАҒЫНДАҒЫ ӨСІМДІК ЖАМЫЛҒЫСЫНДАҒЫ ТРИТИЙ ҚҰРАМЫ

Ларионова Н.В., Лукашенко С.Н., Ляхова О.Н., Айдарханов А.О., Янкаускас А.Б.

ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан

Мақалада Шаған өзенінің сағасындағы және оған жанасып жатқан аумақтардағы өсімдік жамылғысындағы ^3H радионуклидінің құрамы туралы деректер келтірілген. ^3H радионуклидінің әртүрлі жылдардағы құрамының динамикасы қарастырылған. Қазіргі уақытта өсімдік жамылғысының ^3H радионуклидімен негізгі ластануы Шаған өзенінің сағасында, атап айтқанда, тікелей ССП аумағында екендігі және оның жанасып жатқан аумақтардан байқалмағандығы анықталды.

TRITIUM CONTENT OF VEGETATIVE COVER IN THE WATER BASIN OF CHAGAN RIVER

N.V. Larionova, S.N. Lukashenko, O.N. Lyakhova, A.O. Aidarkhanova, A.B. Yankauskas

Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

This article presents data on ^3H radionuclide content in vegetation cover within Chagan river and its adjacent territories. The history of ^3H content was considered in various years. It is established that at the present moment the basic contamination of vegetative cover with ^3H is coincided directly to Chagan river and also directly at the territory of STS and not detected at adjacent territories.

УДК 577.391:577.4:539.16

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ «ДЕГЕЛЕН»

¹⁾ Магашева Р.Ю., ²⁾ Султанова Б.М., ¹⁾ Паницкий А.В.¹⁾ Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан²⁾ Институт ботаники и фитоинтродукции МО РК, Алматы, Казахстан

В настоящей статье дана характеристика современного состояния почвенно-растительного покрова низкогогорного массива Дегелен, который подвергался значительным разрушениям и радиационному загрязнению в период проведения подземных ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне. Выявлены особенности взаимосвязи различных компонентов экосистемы «почвы-растения» и составлена на этой основе схематическая карта почвенно-растительных комплексов. Определены степень техногенных нарушений отдельных компонентов и представлены первичные наблюдения за их восстановлением. Определены основные факторы, определяющие процесс восстановления, и сделаны прогнозные разработки.

ВВЕДЕНИЕ

Испытательная площадка «Дегелен» находится в юго-западной части бывшего Семипалатинского полигона в пределах Восточно-Казахстанской области. Территория представляет собой низкогогорный массив площадью около 220 км² (рисунок 1), который является частью Казахского мелкосопочника.

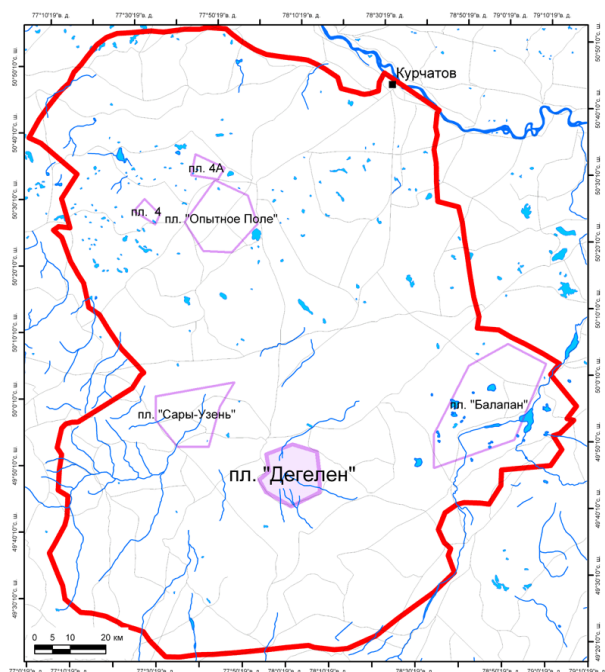


Рисунок 1 – Схема расположения площадки «Дегелен» на территории СИП

Территория низкогогорного массива Дегелен не была ранее обследована специалистами-почвоведом и ботаниками. Только после закрытия Семипалатинского полигона это стало возможным. Изучение почвенно-растительного покрова этого района началось в 90-е годы, для чего закладывались ключевые участки и почвенные разрезы, составлялись профили, проводили описания почвенного и растительного покрова. Эти исследования носили специфичес-

кий характер, так как одновременно со стандартными методами изучения все компоненты экосистемы проверяли на содержание техногенных радионуклидов, которые могли накопиться в них во время ядерных испытаний. Был использован опыт работы в области изучения природной среды в условиях радиоактивного загрязнения в других регионах [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

Радиационная обстановка на территории горного массива Дегелен формировалась вследствие проведения 209 подземных ядерных испытаний в течение 1961-1989 гг., и до сих пор устойчивое формирование ее не закончено [12]. Наиболее значительное загрязнение компонентов природной среды приурочено к участкам территории, прилегающей к испытательным штольням, что связано с продолжающимся выносом продуктов взрыва с грунтовыми водами из них. В связи с этим, выявление особенностей формирования и распространения различных типов почв и видового состава растений, а также их взаимозависимость в ландшафте знать крайне необходимо.

Но ядерные испытания и подготовительные работы к ним привели к значительным антропогенным нарушениям почвенно-растительного покрова исследуемой территории. Изучение степени техногенного нарушения почвы и растительности, а также процесса восстановления экосистемы в условиях радиоактивного загрязнения окружающей среды представляет не только научный интерес, но и имеет практическое значение. Полученные данные могут быть использованы для разработки реабилитационных мероприятий в случае экологических аварий, в том числе и радиационных.

1. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ

Климат. Типичным для климата района является материковый режим температуры воздуха, который характеризуется большой контрастностью, значительной суточной и годовой амплитудой. Температурный режим, в основном, определяется радиационными (солнечная радиация) факторами, а так

же влиянием циркуляции воздушных масс атмосферы, проявляющимся в сложном чередовании поступления холодных и теплых масс воздуха и взаимодействия их в различных сезонных барических условиях [13].

Средняя годовая температура положительная (+4,0°C), что говорит о больших величинах радиационного баланса. Средние месячные температуры воздуха являются одной из основных характеристик термического режима. Среднемесячная температура воздуха самого холодного периода составляет -13,6°C (декабрь – -11,6°C; январь – -14,3°C; февраль – -15,0°C), самого теплого периода +20,6°C (июнь – +20,5°C; июль – +21,8°C; август – +19,6°C). Годовая амплитуда температуры воздуха равна 36,8°C, что предполагает холодную зиму и жаркое засушливое лето.

При значительной продолжительности зимнего периода, сопровождающегося сильными морозами, грунт промерзает до глубины 1,2-1,5 м. Оттаивание мерзлого слоя происходит обычно во второй половине апреля.

Территория характеризуется дефицитом атмосферных осадков. Годовая сумма атмосферных осадков составляет 200-250 мм [14].

Барико-циркуляционные особенности Евразии обуславливают поступление преимущественно бедных влагой арктического воздуха и воздуха умеренных широт континентального происхождения. Засушливость местного климата усиливается за счет пустынь Средней Азии и юга Казахстана. Осадки теплого полугодия сочетаются с высокими температурами, что снижает значение их как фактора увлажнения. Местные континентальные условия определяют неустойчивый характер выпадения осадков. Наблюдаются значительные колебания их количества из года в год.

Первый снег появляется обычно в конце октября, а во второй декаде ноября устанавливается снежный покров. Наиболее обильные снегопады отмечаются со второй декады января до середины февраля. Снеготаяние начинается в третьей декаде марта и заканчивается, обычно, в первой декаде апреля.

Режим ветра носит преимущественно материковый характер. Зимой преобладают юго-восточные (33%) и южные ветры (20%), но на режим ветра сильное влияние оказывает сибирский антициклон, приносящий сильное похолодание в этот регион. В теплое время года направление ветров часто меняется.

Таким образом, холодная малоснежная зима и жаркое засушливое лето на фоне постоянных ветров создают условия для резкоконтинентального климата.

Рельеф. Площадка «Дегелен» представляет собой низкогорный массив изометрической формы в плане с диаметром около 18 км.

Господствующим типом рельефа исследуемой территории является низкий мелкосопочник с высотами 300-500 м с преобладанием куполовидных холмов, а также островных и грядовых скалистых гор, с высотами, превышающими 1000 м. Грядовый рельеф сочетается с реликтами древних поверхностей выравнивания и структур складчатого основания. Два основных хребта из них ориентированы в субширотном направлении и на северо-западе соединены перемычкой. Максимальная абсолютная отметка южного хребта 1070,2 м, северного - 1084,9 м.

Поверхностные воды. Речная сеть низкогорного массива Дегелен радиальная. Основные ручьи – Узынбулак, Карабулак, Байтлес, Токтакушик. Массив прорезан относительно неширокими долинами, имеющими сток в различных направлениях. Наиболее крупная площадь водосбора имеет долина ручья Узынбулак, текущего в юго-восточном направлении. В центре низкогорного массива Дегелен также берут начало ручьи Карабулак со стоком в северном направлении и ручьи Байтлес, Токтакушик, сток которых направлен на юг [15]. Эти ручьи можно отнести к малым рекам Центрального Казахстана, так как им характерен сезонный режим - наличие постоянного стока только весной или во время обильных дождей. Летом русло таких рек, в основном, сухое с небольшими озерами, иногда на некоторых участках заметно течение воды.

Геология и тектоника. Геологическое строение территории Семипалатинского полигона определяется положением её в пределах двух крупных разновозрастных геолого-тектонических структур. Юго-западная часть территории приурочена к Чингиз-Тарбагатайскому геотектоногену каледонского возраста, а северо-восточная – к герцинскому Жарма-Саурскому геотектоногену. Оба геотектоногена представляют собой линейно-вытянутые в северо-западном направлении геолого-тектонические структуры, прослеживаемые на многие сотни километров. В этом же направлении прослеживаются наиболее четко проявляющиеся с поверхности разломы, а также вытянуты складчатые структуры [16].

Низкогорный массив Дегелен приурочен к северо-восточному склону Чингиз-Тарбагатайского мегантиклинория в пределах Чингиз-Тарбагатайского геотектоногена. Осевая часть структуры сложена метаморфическими породами докембрия. Наиболее полно представлены осадочно-вулканогенные разрезы кембрийской и ордовикской систем, а также образования силура орогенной стадии развития. Последующее геологическое развитие мегантиклинория связывается с тектоно-магматической активизацией в субплатформенных условиях и датируется девонем..

Вулкано-плутоническая структура Дегелен формировалась в верхнем карбоне-перми. Вулканиды представлены андезитами и базальтами – в нижней части и кислыми лавами – в верхней части разреза.

Породы полого наклонены (15-35°) к центру. По периферии структуры прослеживаются кольцевые дайки гранит-порфиров и сиенит-порфиров, а в центральную часть структуры внедрился массив гранитов. В результате сформировалась кольцевая вулканоплутоническая структура кальдерного типа.

На завершающей стадии становления гранитного массива проявился высокотемпературный гидротермальный процесс. В апиакальной части массива отмечаются грейзены с вольфрамовым оруднением. Штольнями вскрыты корневые части гидротермального изменения гранитов (окварцевание, пиритизация).

В общем плане расчленение гор Дегелена радиальное. Отроги располагаются кулисообразно, а гребни и долины имеют более сглаженные формы. У подножия гор формируется делювиально-пролювиальный шлейф, являющийся естественным фильтром, через который поверхностные и грунтовые воды вновь поступают в региональный бассейн подземных вод. Крупные долины ручьев имеют перистое строение. Резкие изгибы гребней и ущелий в большинстве случаев связаны с разрывными нарушениями сдвигового характера.

Крупные разломы значительной протяженности секут Дегеленский горный массив в северо-западном, северо-восточном и субширотном направлениях. В северной части гор Дегелен выделяется разрывная структура северо-восточного направления протяженностью около 9 км, состоящая из двух кулисообразных разломов. Наиболее крупный разлом проходит вдоль осевой части долины р. Узынбулак. Его протяженность составляет более 10 км. Южнее прослеживается несколько дугообразно протяженных разломов, обращенных выпуклой стороной к югу [17].

Гидрогеологические условия. Горный массив Дегелен входит в состав региональной гидрогеологической системы левобережья реки Иртыш. По своему господствующему положению в рельефе он является одним из природных устройств, где происходит пополнение бассейна подземных вод за счет осадков. При среднегодовом количестве 215 мм с каждого квадратного километра может поступить до 4000 л/мин воды. [18].

В горной системе Дегелен выделены следующие типы вод: поровые воды современных делювиально-пролювиальных отложений; поровые воды аллювиально-пролювиальных отложений; трещинные воды палеозойских пород.

Поровые воды делювиально-пролювиальных отложений распространены у подножья склонов сопкок, на предгорных равнинах, окружающих горный массив. Они стыкуются в долинах ручьев с поровыми водами аллювиально-пролювиальных отложений, образуя единую систему грунтовых вод. Трещинные воды горных пород также тесно связаны с грунтовыми водами, подпитывая их через зону аэра-

ции. В периоды выпадения обильных осадков и снеготаяния часть воды транспортируется за пределы низкогорного массива и пополняет бассейн грунтовых и трещинных вод. Часть трещинных вод, изливаясь из штолен, также остается в грунтовых водах, а другая по трещинам сразу же возвращается.

Глубина залегания грунтовых вод на разных участках горного массива различна. В межгорных участках подземные воды находятся на глубине до 2-6 м. За пределами горной системы уровень снижается до 10-12 м, а в водораздельных частях уровень трещинных вод находится на глубине 100-200 м и более [19].

2. ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ ПЛОЩАДКИ «ДЕГЕЛЕН»

Описание почвенно-растительного покрова

Характеристика почвенно-растительного покрова выполнена на основании полевых и лабораторных работ, проведенных на территории низкогорного массива Дегелен за последние 20 лет. Обследования специалистами ботаниками и почвоведом этого региона стало возможным только после закрытия Семипалатинского полигона. Но первые исследования были посвящены, в первую очередь, вопросам состояния растительного покрова, степени его нарушения и процессам восстановления. Они были выполнены по договорным темам, работам по грантам МНТЦ, INTAS, а так же по контрактам DSWA и DTRA.

Работы по изучению растительного покрова всегда были связаны с обследованиями почв, классификации и определением их свойств. Особенно детально были изучены эти показатели по Гранту «Формирование растительности и радиоэкология Семипалатинского испытательного полигона». Непосредственно на исследуемой территории в рамках этого проекта в 1998-2000 годы были проведены работы по выявлению накопления техногенных радионуклидов в различных растениях (однодольных и двудольных), произрастающих на различных типах почв.

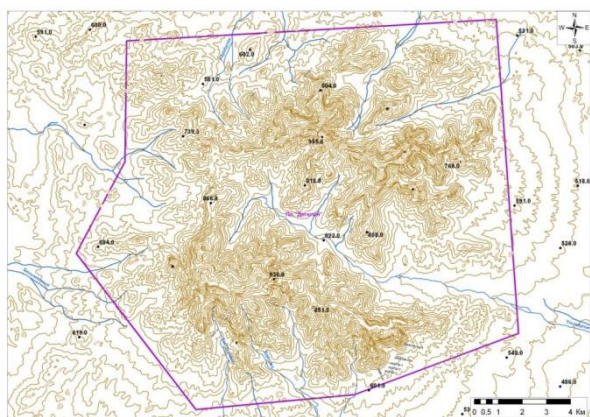
В 2003-2004 гг. сотрудниками ИРБЭ были заложены исследовательских площадки в долинах русел основных ручьев массива Дегелен. Одновременно с описанием местности и растительности на выбранных площадках были заложены почвенные разрезы, отобраны пробы почв по генетическим горизонтам и образцы доминантных растений (наземная, подземная части) на определение содержания основных техногенных радионуклидов. Одновременно на этих почвенных образцах определялись физико-химические свойства почв.

Описание почвенно-растительного покрова выбранных площадок и почвенного профиля в разрезах выполнено согласно общепринятой методики [20]. Образцы почв отобраны по генетическим горизонтам на следующие виды анализов: содержание гумуса, pH водного раствора, химический и механи-

ческий состав, подвижный калий, сумма поглощенных оснований. Почвенные разрезы заложены до почвообразующих пород, которые представлены рухляком (кора выветривания скальных пород). В случаях достижения уровня подрусловых вод из разрезов отбирались пробы воды. Физико-химические свойства почв были определены общепринятыми в почвоведении методами: содержание гумуса в почвах – методом Тюринга [21], кислотность – потенциометрическим методом [22], содержание обменных кальция и магния – методом, основанным на вытеснении катиона 1H раствором NaCl [23], механический анализ – методом Качинского [24].

Растительный покров изучался с использованием традиционных методов геоботанических исследований [25, 26] и картирования растительности [27, 28, 29].

При исследованиях почвенного покрова низкогорного массива Дегелен наибольшее внимание было уделено луговому хорошо увлажненному за счет водопроявлений из штолен почвам, расположенным в верховьях долин ручьев, так как эти почвы были подвергнуты наибольшему радиоактивному загрязнению. Наиболее детальные исследования были выполнены в долинах ручья Байтлес и ручья Узынбулак (рисунок 2) [20].



*Рисунок 2 – Схема расположения ручьев
в низкогорном массиве Дегелен*

В долине ручья Байтлес было заложено 44 разреза, в долине правостороннего притока ручья Узынбулак – 14. На основании полученных данных была дана детальная характеристика физико-химических свойств почв лугового ряда в долинах ручьев, определены область и степень накопления техногенных радионуклидов, особенности их распространения по руслу.

В почвенно-географическом отношении территория низкогорного массива Дегелен расположена в подзоне опустыненных полынно-ковыльно-типчаковых степей с зональным подтипом светло-каштановых почв [14]. Формирование зональных почв происходит в условиях резкого дефицита влаги, что особенно заметно на выпуклых поверхностях пере-

сеченного рельефа южной экспозиции. Основным источником увлажнения являются атмосферные осадки. Но дополнительное увлажнение почв за счет склонового стока, а также за счет поверхностных вод ручьев в горном массиве Дегелен создает разнообразие режимов их увлажнения и формирует почвы полугидроморфного или гидроморфного типа. Таким образом, неоднородность почвенного, как и растительного покрова, определяется рельефом и, как следствие, условиями увлажнения и составом почвообразующих пород.

Наиболее распространенными почвами на территории массива Дегелен являются светло-каштановые малоразвитые, с мощностью рыхлых отложений до 40 см, щебнистые на светлых породах. Они образуются в условиях сглаженного мелкопочечного рельефа, где занимают преимущественно вершины и гребни сопок или склоны скалистых грядовых гор. Почвообразующими породами служит маломощный (до 30 см) щебнистый элювий коренных пород или элювиально-делювиальные щебнистые суглинки (до 35–40 см), подстилаемые плотными породами или чаще рухляком. Почвенный профиль маломощный, светло-каштановый, комковатый, щебнистый, легкосуглинистый или супесчаный. Он ограничивается близким залеганием плотных пород или их рухляка, поэтому часто выделяется лишь один горизонт «А». Карбонаты обнаруживаются в нижней части гумусового горизонта в виде корочек и налетов на нижних поверхностях щебня в почвах, распространенных только лишь на периферии низкогорного массива.

Рядом с малоразвитыми почвами залегают более мощные почвы, образующие мелкую пятнистость. Они называются неполноразвитыми и являются переходными от малоразвитых к нормальным. Они, как правило, развиваются в нижних частях склонов сопок и грядовых гор. Мощность рыхлых отложений не превышает 60 см. Мощность гумусового горизонта малоразвитых и неполноразвитых почв зависит от мощности рыхлых отложений. Содержание гумуса в горизонте может достигать 3,0–4,0 %. Эти почвы большого распространения не получили.

Светло-каштановые нормальные почвы встречаются в широких нижних частях долины, чаще на внешних склонах сопок, оконтуривающих низкогорный массив Дегелен. Они имеют устойчивый сформированный профиль, для которого характерна небольшая мощность гумусового горизонта ($A + B$ не превышает 35 см) и отчетливое деление на коричневатого-серый со слоеватым сложением и комковатой непрочной структурой горизонт «А» и коричневатого-светло-бурый уплотненный горизонт «В». Глубже выделяется плотный карбонатно-иллювиальный горизонт, переходящий в почвообразующую породу. Вскипание от HCl отмечается в пределах гумусового горизонта. Содержание гумуса в верхних горизонтах в условиях отсутствия использования участка под пастбища достигает 3,0 – 3,5 %.

На абсолютных отметках выше 600-700 м выявляется высотная вертикальная зональность – почвы приобретают более яркий коричневый цвет, лучше выражена их структура. Их называют горно-каштановыми. Содержание гумуса в них увеличивается до 4-5 %. Площадь распространения их невелика, в основном, они встречаются небольшими пятнами на пологих склонах в верхних частях грядовых и скалистых гор, часто на осыпях мелкозема по распадам и трещинам.

Растительный покров природной подзоны опустыненной степи – это сильно изреженные полынно-ковыльно-типчаковые сообщества с редким кустарником. Наиболее распространенными на светло-каштановых почвах являются типчак (*Festuca valesiaca*), ковыль тырса (*Stipa capillata*), ковыль восточный (*Stipa kirghisorum*), полынь холодная (*Artemisia frigida*), карагана низкорослая (*Caragana pumila*), спирея зверобоелистная (*Spiraea hypericifolia*) и др.

Ранее проведенными исследованиями [18] было выявлено 392 вида сосудистых растений, относящихся к 58 семействам. По уровню богатства флоры горный массив Дегелен приближается к флорам горной Южной Сибири и Средней Азии. Ценотический состав растительного покрова горного массива Дегелен отличается значительным разнообразием. Отличительной особенностью структуры растительного покрова горного массива является высотная поясная смена растительности [19]. Гранитные низкогорья, высокие и низкие мелкосопочники низкогорного массива Дегелен создают разнообразие экологических условий для формирования петрофитной растительности.

Для предгорных равнин и шлейфов низкогорий характерны караганово-холоднополынно-типчаково-тырсовые (ковыль-тырса – *Stipa capillata*, типчак – *Festuca valesiaca*, полынь холодная – *Artemisia frigida*, карагана низкорослая – *Caragana pumila*) сообщества на малоразвитых или неполноразвитых почвах. На дресвянистых участках склонов произрастают сообщества с доминированием (зизифора – *Ziziphora clinopodioides*, тимьян – *Thymus serpyllum*, вероника – *Veronica incana*, типчак – *Festuca valesiaca*). На малоразвитых и неполноразвитых почвах склонов северной и северо-восточной экспозиции формируются разнотравно-осоково-злаковые (овсец пустынный – *Helictotrichon desertorum*, ковыль киргизский – *Stipa kirghisorum*, типчак – *Festuca valesiaca*, осока стоповидная – *Carex pediformis*, василистник вонючий – *Thalictrum foetidum*, володушка золотистая – *Bupleurum aureum*, хамеродос прямостоящий – *Chamaerhodos erecta*, прострел раскрытый – *Pulsatilla patens*) сообщества. Для южных склонов типичны сообщества злаково-разнотравные (земляника зеленая – *Fragaria viridis*, гвоздика иглолистная – *Dianthus acicularis*, вероника ненастоящая – *Veronica spuria*, полынь широколистная – *Artemisia*

latifolia, полынь каменная – *A. rupestris*, типчак – *Festuca valesiaca*, ковыль-тырса – *Stipa capillata*, житняк – *Agropyron cristatum*) с участием кустарников (спирея трехлопастная – *Spiraea trilobata*, спирея зверобоелистная – *S. hypericifolia*, карагана низкорослая – *Caragana pumila*, жимолость мелколистная – *Lonicera microphylla*). На гранитных плитах распространены петрофитно-разнотравно-кустарниковые (спирея трехлопастная – *Spiraea trilobata*, шиповник колючейший – *Rosa spinosissima*, кизильник малоцветковый – *Cotoneaster oliganthus*, жимолость мелколистная – *Lonicera microphylla*, лапчатка, Курильский чай – *Pentaphylloides parvifolia*, горноколосник колючий – *Orostachys spinosa*, очиток гибридный – *Sedum hybridum*, оносма простейшая – *Onosma simplicissima*, василистник простой – *Thalictrum simplex*) ценозы. На каменистых вершинах обычно распространены петрофитно-разнотравно-лишайниковые группировки с преобладанием пармелии блуждающей – *Parmelia vagans*, пармелии – *P. cetrata*, *Diploschistes scropsus*, горноколосника колючего – *Orostachys spinosa*, молочая приземистого – *Euphorbia humilis*, патринии средней – *Patrinia intermedia*, оносмы простейшей – *Onosma simplicissima*, смолевки кустарничковой – *Silene suffrutescens*, ястребинки румянковидной – *Hieracium echinoides*.

На матрацевидных гранитах низкогорного массива Дегелен встречаются кустарниковые ценозы с участием спиреи трехлопастной (*Spiraea trilobata*), шиповника колючейшего (*Rosa spinosissima*), кизильника малоцветкового (*Cotoneaster oliganthus*), кизильника черноплодного (*C. melanocarpus*), жимолости мелколистной (*Lonicera microphylla*), лапчатки (*Pentaphylloides parvifolia*), иногда в их составе встречаются барбарис сибирский – *Berberis sibirica*, смородина каменная – *Ribes saxatile*, можжевельник сибирский – *Juniperus sibirica*. На каменистых осыпях по распадам обычны заросли можжевельника казацкого – *Juniperus sabina*..

Фрагменты лесного типа растительности встречаются в особо благоприятных условиях – небольшие осиново-березовые (береза плакучая – *Betula pendula*, осина – *Populus tremula*) рошчицы с участием тополя седоватого – *Populus canescens*, боярышника зеленоплодного – *Crataegus chlorocarpa*, шиповника колючейшего – *Rosa spinosissima*, черемухи обыкновенной – *Padus avium*, жимолости татарской – *Lonicera tatarica*, смородины черной – *Ribes nigrum*, ежевики – *Rubus caesius* и богатым злаково-разнотравным (дудник лесной – *Angelica sylvestris*, кровохлебка аптечная – *Sanguisorba officinalis*, василистник желтый – *Thalictrum flavum*, подмаренник бореальный – *Galium boreale*, репейничек волосистый – *Agrimonia pilosa*, вейник наземный – *Calamagrostis epigeios*, мятлик степной – *Poa angustifolia*, Melissa трансильванская – *Melica transsilvanica*) травяным ярусом, формирующимся в долинах ручьев и на склонах тенистых ущелий гранитных низко-

горий. Так, на слабонарушенном высоком гранитном гребне выявлено единственное на Дегелене местопроизрастание сосны лесной – *Pinus sylvestris*. Древесный ярус образуют сосна – *Pinus sylvestris* и береза – *Betula pendula*. В тенистых расщелинах гранитных плит встречаются папоротники из родов костенец – *Asplenium* и вудсия – *Woodsia* и под пологом березово-осиновых рощиц кустарниковые заросли.

Лугово-каштановые почвы относятся к почвам полугидроморфного ряда, получающим дополнительное увлажнение за счет поверхностных вод, прежде всего, склонового стока. Как правило, они не получают питания за счет грунтовых вод в течение летне-осеннего теплого периода года. Распространены такие почвы на исследуемой территории в нижних частях склонов сопок, грядовых гор, а также на высоких поймах или берегах долин ручьев. Развиваясь в более благоприятных условиях, чем зональные почвы, они отличаются большей мощностью гумусового горизонта (до 40 см), более высоким содержанием органического вещества в нем (до 5%) а, следовательно, и более темной окраской его. В этих почвах довольно часто проявляются признаки засоления и солонцеватости, так как этим процессам способствуют застойные условия их формирования. Лугово-каштановые почвы формируются под лугово-степной растительностью. Наряду с распространенными растениями полынно-ковыльно-типчковых опустыненных степей – ковыль (*Stipa capillata*), типчак (*Festuca valesiaca*), полынь (*Artemisia frigida* – зачастую отмечается присутствие несколько большего количества кустарников – карагана низкорослая (*Caragana pumila*), спирея зверобоелистная (*Spiraea hypericifolia*) – иногда пустынно-степного разнотравья и отдельных луговых растений – остреп (*Bromus inermis*), ломкоколосник (*Psathyrostachys juncea*), солодка приземистая (*Glycyrrhiza uralensis*).

К гидроморфным почвам относятся все почвы лугового ряда, так как в их формировании активное участие принимают поверхностные и грунтовые воды. Луговые обыкновенные почвы в низкогорном массиве Дегелен распространены, в основном, в долинах мелких ручьев, занимая низкие и высокие поймы при глубине зеркала грунтовых вод на уровне 1-3 м. Площадь, занятая ими, невелика, но в связи со спецификой исследований они были изучены детально. Почвообразующими породами луговых почв служат рыхлые отложения различного литологического состава и генезиса. Своеобразие состава луговых почв определяется режимом увлажнения, степенью минерализации грунтовых вод, особенностями почвообразующих пород. Поэтому они могут быть как луговые избыточного, так и недостаточного увлажнения – от обсыхающих до опустыненных. В верховьях ручьев, особенно в местах водопроявления из штолен, формируются, как правило, луговые почвы избыточного увлажнения. В низовьях, куда

не доходят летом поверхностные воды, и уровень грунтовых вод опускается ниже 3-х м, луговые почвы испытывают дефицит влаги, обсыхают и опустыниваются.

Луговые обыкновенные почвы, увлажненные водами из штолен, становятся часто избыточно увлажняемыми, как правило, они маломощные, мощность почвенной толщи в русле не превышает 40-60 см, в береговой зоне – 20-40 см. Они достаточно хорошо гумусированы, особенно по центру русла. Установлено, что содержание общего гумуса в поверхностных горизонтах почв, представленных дерниной (0-7, 0-10 см) колеблется от 3,2 до 23,7 %, при среднем значении в пределах 8-15%. Максимальные количества приурочены к берегам русел водотоков, где отмечается наиболее значительное увлажнение почв. Во втором от поверхности горизонте значения органического вещества резко снижаются и редко превышают 10 %. На уровне почвообразующих пород эта величина находится в пределах 1%.

В условиях промывного водного режима в почвах отсутствуют карбонатные соли (CO_2 карбонатов) и сумма легкорастворимых солей, в основном, не достигает 0,1 %. Но при близком залегании зеркала грунтовых вод, что отмечается иногда на берегах водотоков, возможно накопление солей в поверхностном горизонте, что позволяет их отнести к роду слабо солончаковых почв. РН водной суспензии почв редко нейтральная, чаще слабощелочная или щелочная. В почвенно-поглощающем комплексе преобладает катион Са. Его значение достигает в верхних горизонтах среднесуглинистых почв 50мг-экв на 100 г почвы. В случае более легкого механического состава почв, что иногда имеет место, содержание обменного Са уменьшается до 25-28 мг-экв на 100 г почвы. Содержание обменного Mg составляет около 10 % от значения Са, но с глубиной содержание Са резко уменьшается, а величина Mg изменяется в меньшей степени, что приводит к другому соотношению обменных катионов.

Таким образом, луговые почвы в верховьях долин ручьев низкогорного массива Дегелен, сформированные специфическим режимом увлажнения, могут иметь мощный гумусовый горизонт до 50-60 см с высоким содержанием органического вещества до 19-20 % в верховьях ручьев. Но основные показатели физико-химических свойств почв изменяются от верховьев ручья к низовьям, от подножья сопок и гряд к осевой части русла, от центра низкогорного массива к периферийным частям. Так, к области конечного стока в долине каждого ручья уменьшается содержание гумуса до 4-4,5 %, увеличивается содержание CO_2 карбонатов в почвах до 12-14 % (в верховьях карбонаты отсутствовали) и щелочности до 8,5 при значениях 6,5 в начале притоков или основных русел. Вместе с тем происходит снижение суммы поглощенных оснований от 30 до 15%, содержания обломочного материала в почвенном профиле

до 5%, тогда как в верховьях долины эта величина достигает 70%. Вместе с этими изменениями растет и засоленность почв, в предгорной полосе сумма легкорастворимых солей в поверхностном горизонте достигает 0,7% и более.

Причина изменений основных показателей – уменьшение уклона местности, и, соответственно, уменьшение естественной дренированности территории, а также увлажнения, что приводит к: увеличению количества мелкодисперсных частиц в профиле, накоплению легкорастворимых солей в поверхностных горизонтах, увеличению содержания тонкого гумуса.

На почвах лугового ряда распространены несколько видов лугов. Болотистые луга с доминированием тростника обыкновенного – *Phragmites communis*, рогоза узколистного – *Typha angustifolia*, рогоза Лаксмана – *T.laxmanni*, клубникамышья ровного верхушечного – *Bolboschoenus planiculmis*, осоки омской – *Carex omskiana* характерны для природниковых луговин, окраин техногенных водоемов, образованных около припортовых площадок штолен с водопроявлениями на луговых избыточного увлажнения щебнистых почвах. Полидоминантные настоящие луга из вейника наземного – *Calamagrostis epigeios*, пырея ползучего – *Elytrigia repens*, костра безостого – *Bromopsis inermis*, кровохлебки аптечной – *Glycyrrhiza uralensis* встречаются фрагментарно в поймах всех ручьев на луговых суглинистых почвах. На осыпях и песчано-галечниковых сухих руслах распространены ценозы из караганы низкорослой – *Caragana pumila*, курчавки кустарниковой – *Atraphaxis frutescens*, вьюнка кустарникового – *Convolvulus fruticosus*. Ивовые заросли, сложенные ивой пепельносерой – *Salix cinerea*, прутьевидной – *S.viminalis*, розмаринолистной – *S.rosmarinifolia*, трехтычинковой – *S.triandra*, произрастают в поймах ручьев, вокруг родников и техногенных водоемов.

В условиях замедления движения стока поверхностных и грунтовых вод, что характерно для нижних частей долин ручьев, среди луговых обыкновенных суглинистых щебнистых почв появляются обсыхающие и опустынивающиеся варианты под остепненными лугами с участием волоснеца узкого – *Leymus angustus*, мятлика узколистного – *Poa angustifolia*, костра безостого – *Bromopsis inermis*, люцерны серповидной – *Medicago falcata*, лапчатки вильчатой – *Potentilla bifurca*. Такие сообщества характерны также для межсопочных и межгрядовых ложбин, склонов высоких пойм ручьев, внутренних подгорных долин.

Среди луговых почв недостаточного поверхностного увлажнения выделяют карбонатные, солонцеватые, солончаковые. Для них характерны галофитные варианты лугов, представленные ценозами с доминированием бескильницы длинночешуйной – *Puccinellia dolicholepis*, ячменя короткоостистого –

Hordeum brevisubulatum, Богдана – *H.bogdanii*, прибрежницы солончаковой – *Aeluropus littoralis*, чия блестящего – *Achnatherum splendens*. Они распространены в поймах ручьев и на надпойменных террасах, на почвах суглинистого и тяжелосуглинистого механического состава. Такие участки встречаются в низовьях долин ручьев или на предгорных равнинах горного массива Дегелен.

Луговые карбонатные отличаются значительным накоплением карбонатов (до 12–14 % в пересчете на CaCO_3) уже с поверхности. Далее с глубиной количество возрастает до 15–30 % и более, достигая максимума в нижней части гумусового горизонта, мощность которого сокращается до 30 см. Содержание органического вещества в таких почвах уменьшается до 4–7%. Карбонатные почвы появляются на плоских повышениях или водораздельных пространствах в нижних частях долин. Для таких почв характерны остепненные растительные сообщества с участием пырея (*Agropyron repens*), осочки (*Carex supina*), солодки (*Glycyrrhiza uralensis*), чия (*Lasiagrostis splendens*) полыни (*Artemisia austriaca*, *A.sublessingiana*), тонконога (*Koeleria cristata*) и типчака (*Festuca valesiaca*).

Луговые солонцеватые почвы распространены в депрессиях рельефа с близким залеганием соленых грунтовых вод. Они имеют среднеспонгиозный гумусовый горизонт с содержанием органического вещества до 3–4%, в нижней части которого наблюдается ореховатый глянцевый иллювиальный солонцеватый горизонт «В». В этом горизонте в почвенно-поглощающем комплексе, насыщенном кальцием, магнием присутствует и натрий в количестве до 20 %, что усиливает щелочность и плотность почвы. Такие почвы формируются в береговой зоне озер, заводей, водоемов. Эти особенности солонцеватых почв не способствуют произрастанию многих видов растительности. На луговых солонцеватых почвах формируются, в основном, луговые злаки – острец (*Leymus angustus*), пырей (*Agropyron repens*), чий (*Lasiagrostis splendens*), кияк (*Imperata cylindrica*), бескильница (*Puccinella dolicholepis*). На солонцах поселяются различные виды полыни, местами с ломкоколосником (*Psathyrostachys Pjunccea*), грудницей (*Linosyris vulgaris*) или типчаком (*Festuca valesiaca*).

Луговые солончаковые почвы формируются в условиях подпитывания слабоминерализованных грунтовых вод и преобладания среднесуглинистых, тяжелосуглинистых разновидностей в почвенном профиле. Характерно накопление легкорастворимых солей в верхних горизонтах почв. Тогда среди таких почв выделяют род солончаковых (содержание солей в слое 0–30 см в количестве более 0,3 %); род солончаковатых (содержание в слое 30–80 см в количестве более 0,3 %). Солончак имеет 1 % и более легкорастворимых солей в поверхностном горизонте. Содержание гумуса уменьшается до 2–3% вместе с

уменьшением мощности горизонта. Для солончаковых почв характерны виды галофитно-злаковой растительности. Это чий (*Lasiagrostis splendens*), кияк (*Imperata cylindrical*), пырей (*Agropyron repens*), остроц (*Leymus angustus*), бескильница (*Puccinella dolicholepis*), полынь Шренка (*Artemisia Shrenkiana*), кермек Гмелина (*Limonium Gmelinii*), ирис солончаковый (*Iris halophila*), камфоросма (*Camphorosma*). Для солончаков характерны лебеда бородавчатая (*Atriplex cana*), солянки (*Salsola*), софора (*Sophora L*), полынь Шренка (*Artemisia Shrenkiana*), кермек Гмелина (*Limonium Gmelinii*), селитрянки (*Nitraria sibirica*), прутняк (*Kochia prostrata*).

Составление почвенно-растительных комплексов в зависимости от ландшафта и их картирование

Картирование отдельных ключевых участков исследуемой территории, отбор сопряженных образцов почв и растений на участках различной ландшафтной привязки, использование космических снимков позволили составить карту-схему почвенно-растительных комплексов низкогогорного массива Дегелен (рисунок 3).

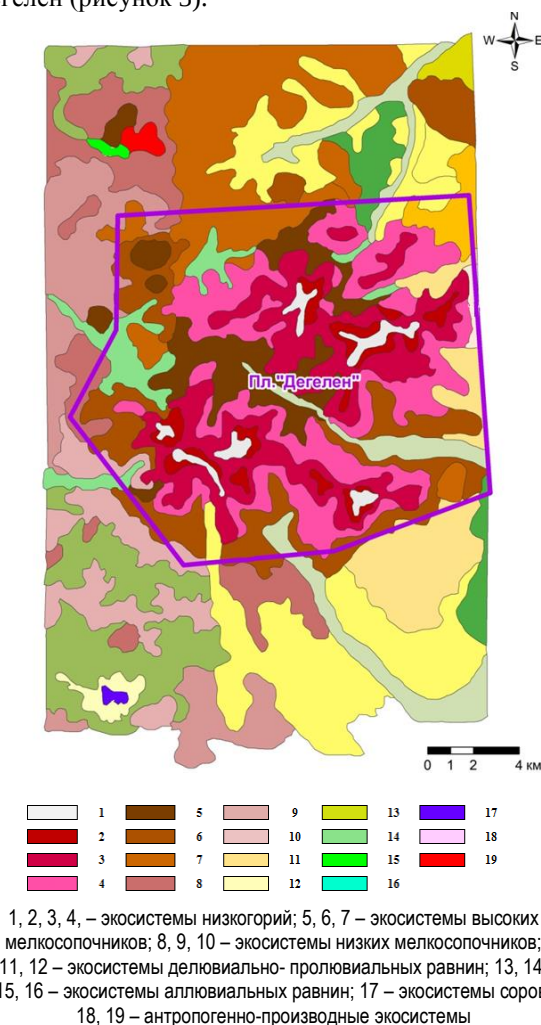


Рисунок 3 – Карта-схема почвенно-растительных экосистем площадки «Дегелен»

Почвенно-растительные комплексы учитывают элемент рельефа и его положение в ландшафте, абсолютную отметку и относительную высоту территории, экспозицию, тип почвы и доминантные виды растительных сообществ. Но в связи с резкой расчлененностью рельефа, и, соответственно, сменой природных условий, представленная карта является схематичной, что отражается многоплановостью легенды. Карта позволяет увидеть лишь основные тенденции распространения почвенно-растительных комплексов и их зависимость от рельефа и высотной привязки.

**3. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ
ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА
В СВЯЗИ С ТЕХНОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ
НА ИССЛЕДУЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ**

На площадке «Дегелен» с 1961 по 1989 годы проводились подземные ядерные испытания. Для них было пробито 181 штольня в коренных породах, представленных гранитами, туфоловами липаритов, сиенит-порфирами, гранит-порфирами и базальтами.

Для проведения испытаний были проведены значительные подготовительные работы: строительство автомобильных дорог, ЛЭП, большой объем вскрышных работ, проходка горизонтальных штолен в плотных породах, отъем и засыпка рыхлого грунта для строительства различных объектов и рекультивации земель, строительство объектов военного назначения и инфраструктуры для проживания людей, работающих на полигоне.

Все эти виды хозяйственной деятельности приводили к нарушению естественного сложения почвы. Часто верхний наиболее плодородный слой почвы засыпался рыхлым грунтом с других участков или снимался, что приводило к изменению мощности гумусового горизонта и содержания органического вещества в нем. При строительстве дорог через русла ручьев, что имеет место в долинах ручьев Байтлес, Узынбулак и других, были насыпаны земляные плотины. Несмотря на наличие в теле плотины водоводов, естественный режим малой реки нарушается – паводковые воды задерживаются, оставляя у плотины значительное количество приносимого взвешенного материала. Таким образом, наращается верхний слой почвы и нарушается естественное сложение луговых почв.

При ядерных взрывах в штольнях произошла, прежде всего, дезинтеграция скальных пород. Гребни основных хребтов и их боковые отроги были разрушены многократным воздействием ударных волн, появились новые трещины. На вершинах хребтов появились «зоны откола», а на их склонах – техногенные осыпи. Техногенные осыпи зачастую охватывают участки склонов вплоть до порталов штолен. Рыхлый слой грунтов на крутых склонах был засыпан обломочным материалом или сдвинут вниз к подножью.

После прекращения ядерных испытаний на площадке «Дегелен» появились водотоки из штолен, которые несмотря на закрытие выходов из них бетонными пробками, с различной периодичностью остаются действующими. Естественное водопоявление усилилось, так как взрывами были вскрыты водоносные горизонты и разрушенные породы стали более проницаемыми для атмосферных осадков. Водоявлением из штолен созданы новые ручьи, стекающие в русла имеющихся долин. Они создают новые условия обводнения на этих участках, изменяя почвенно-растительный покров и, в целом, весь ландшафт. Изменения естественного ландшафта вносят нерегламентированная деятельность по изъятию медного кабеля из траншей и пожары, сопутствующие этому процессу. Немалую роль в нарушении природного ландшафта играет техногенный мусор, оставленный в результате деятельности человека.

Санкционированная техногенная деятельность – добыча флюорита также меняет облик земли. В результате разработки флюоритового месторождения открытым способом в низкогорном массиве Дегелен полностью уничтожен почвенно-растительный покров в карьере и на отвалах. На прилегающей территории он значительно нарушен.

Изменения почвенного покрова, особенно на луговых почвах, не всегда видны при первом осмотре, так как интенсивность процессов формирования луговых почв и зарастания растительностью в долинах ручьев при избыточном увлажнении достаточна велика. Но более детальные обследования позволяют увидеть погребенные гумусовые горизонты, уменьшенную мощность гумусового горизонта или его отсутствие, нанесенные с поверхности слои рыхлого грунта. Этим же обстоятельством можно объяснить отклонения в картине распределения техногенных радионуклидов в почвенных разрезах на «загрязненных» участках, так как во время рекультивационных работ осуществлялась засыпка чистым слоем почвы наиболее «грязной» поверхности.

После антропогенного вмешательства почвы лугового ряда в долинах ручьев приобрели новые особенности, обусловленные не только местоположением в бассейне конкретного ручья, что имеет место в естественных условиях, но и близостью расположения к современному источнику увлажнения, то есть водотоку от штольни.

Одновременно с почвенным покровом произошли изменения и растительного покрова. При техногенном нарушении гумусового горизонта – уменьшении его мощности или содержания органического вещества в нем – происходят изменения в ценоотическом составе растительности, что приводит к появлению видов не характерных для данного типа почв. Но на различных типах почв изменения различны. Так, на зональных горно-каштановых и светло-каштановых почвах, занимающих склоны низкого и высокого мелкосопочника, грядовых гор появляются

сначала некоторые виды лишайников, а в местах накопления мелкозема сорные виды или единичные растения петрофитной растительности.

В случае полного уничтожения почвы происходит зарастание поверхности с нулевого цикла. Этот процесс детально изучен Б.М.Султановой [30] на припортальных площадках штолен, которые были созданы при их закрытии. Поверхность припортальной площадки состоит из привезенного с других участков грунта (чаще всего это гравийно-галечники с небольшим количеством мелкозема), и почвы, которую сгребли с близлежащих склонов. Поэтому нарушение растительности на припортальных площадках редко бывает частичным, влияющим по большей части на его структуру, в основном, оно очень сильное, когда на небольших площадях растительный покров удаляется почти полностью, или катастрофическое, когда нарушается установившееся равновесие между почвой, растительностью и подстилающими породами. В таких случаях естественное зарастание идет по типу первичной сукцессии, т.е. восстановление после полного уничтожения почвенно-растительного покрова.

Сингенетическую сукцессию на припортальной площадке можно представить следующими стадиями: поселение единичных растений, их прорастание и выживание, формирование группировок. Последующие стадии естественного зарастания техногенных экотопов определяются возрастом и составом литоэдафотопов, характером окружающего растительного покрова.

Таким образом, на припортальной площадке первыми поселяются сорные и адвентивные виды: *Amaranthus retroflexus*, *Ceratocarpus arenaria*, *Artemisia scoparia*, *Kochia scoparia*, *Acroptilon repens*, *Fumaria vaillantii*. Но видовой состав обследованных сообществ во многом случаен, и определяется как условиями экотопа, так и возможностями заноса диаспор с сопредельных участков. И все-таки ведущая роль в естественном зарастании постоянно принадлежит одному и тому же небольшому числу травянистых видов: *Artemisia dracunculus*, *Artemisia scoparia*, *Artemisia sieversiana*, *Artemisia vulgaris*, *Kochia scoparia*, *Kochia sieversiana*, *Amaranthus retroflexus*, *Lactuca serriola*, *Chorispora sibirica*, *Isatis costata*, *Berteroa incana*, *Melilotus albus*, *Medicago falcata*, *Solanum dulcamara*, *Ziziphora clinopodioides*. Особенно большой активностью во вновь сформированных техноэдафотопе отличаются виды: *Artemisia dracunculus*, *Artemisia sieversiana*, *Kochia scoparia*, *Amaranthus retroflexus*, *Lactuca serriola*, *Medicago falcata*, *Melilotus albus*.

Скорость формирования вторичной растительности находится в прямой зависимости от гранулометрического состава субстратов. Сильно каменистые участки припортальных площадок штолен или сами порталы практически не зарастают. Если в составе субстрата содержится даже небольшое количество

мелкозема, скорость зарастания заметно выше. На припортовой площадке дифференциация растительных группировок также зависит от микрорельефа и состава почвогрунтов.

Все растительные группировки на вновь сформированных техногенных местообитаниях сильно отличаются от зональных сообществ и представляют собой лишь пионерную стадию (или несколько стадий) процесса восстановления растительного покрова.

Восстановление растительного покрова идет за счет ресурсов местной флоры. Так, в течение первых 3 лет после закрытия штолен на вновь сформированных техногенных экотопах развивались единичные растения, разреженные группировки и отдельные микрофитоценозы, общее проективное покрытие которых редко превышало 5-10%. По прошествии 10 лет наши наблюдения показывают, что зарастание продолжается. Но естественное зарастание происходит медленно и неэффективно. Для полного восстановления зональной растительности требуется значительно больший срок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате многолетнего изучения почвенного и растительного покрова низкогорного массива Дегелен был собран материал, который позволил дать многоплановую, комплексную и, на некоторых участках, детальную его характеристику. Она учитывает сопряженный характер этих компонентов в экосистеме растительность – почвы – элемент рельефа – режим увлажнения. Выявлены особенности взаимосвязи всех компонентов в различных условиях местоположения в ландшафте. Наиболее распространенными на исследуемой территории являются зональные почвы – это светло-каштановые мало- и неполноразвитые под полынно-ковыльно-типчаковой

растительностью с участием кустарников и петрофитов, развитых на склонах сопок, нижних частей грядовых гор и водораздельных равнин. Наибольшее внимание при изучении почвенно-растительного покрова исследуемой территории уделено интразональным почвам лугового ряда, занимающим долины ручьев, так как они подверглись, и этот процесс продолжается, наибольшему радиоактивному загрязнению.

На основании полученных данных и анализа картографического материала, космических снимков составлена схематическая карта почвенно-растительных комплексов исследуемой территории, которая позволяет увидеть основные тенденции смены растительного покрова в зависимости от других компонентов системы в условиях радиоактивного загрязнения среды.

Определены причины и степень антропогенного нарушения почвенно-растительного покрова на различных элементах рельефа. Рассмотрены различные виды нарушений, а также приведены первые результаты наблюдений по восстановлению растительности, которые дали возможность сделать прогнозы частичного или полного его восстановления. Выявлено, что на почвах лугового ряда зарастание нарушенных почв луговой растительностью происходит быстрее, чем в условиях зональных почв.

Изучение процессов зарастания растительностью антропогенно-нарушенного почвенного покрова имеет не только научный интерес. В случае техногенных, в том числе и радиационных, аварий часто имеет место нарушения природной среды, что влечет за собой разработку практических мероприятий для восстановления этих компонентов, с учетом опыта и знаний по этому вопросу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексахин Р.М. Радиоэкология орошаемого земледелия / Р.М. Алексахин, О.И. Буфарин, В.Г. Маликов [и др.]. – Москва: Энергоатомиздат, 1985. – 224 с.
2. Алексахин Р.М. Некоторые достижения и задачи в исследовании естественных и искусственных радионуклидов в почве и растительности / Р. М. Алексахин // Почвоведение. – 1982. - №6. – С. 45–52.
3. Алексахин Р.М. Некоторые актуальные вопросы почвенной химии искусственных радионуклидов и их накопление сельскохозяйственными растениями / Р.М. Алексахин // Почвоведение. – 1975. – №11. – С. 32–39.
4. Алексахин Р.М. Радиоактивное загрязнение почв и растений / Р.М. Алексахин. – Москва: АН СССР, 1963. – 132 с.
5. Алиев Д.А. Стронций-90 и цезий-137 в почвенно-растительном покрове Азербайджана / Д.А. Алиев, М.А. Абдуллаев. – Москва: Наука, 1983. – 102 с.
6. Павлоцкая Ф.И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах / Ф.И. Павлоцкая. – Москва: Атомиздат, 1974.
7. Перцов Л.А. Ионизирующее излучение биосферы / Л.А. Перцов. – Москва: Атомиздат, 1973. – 216 с.
8. Рассел Р.С. Радиоактивность и пища человека: [пер. с англ.] / Р.С. Рассел; под ред. В.М. Ключковского. – Москва: Атомиздат, 1971. – 375 с.
9. Современные проблемы радиобиологии. Радиоэкология / Под ред. В.М. Ключковского. – Ч. II. – Москва: Атомиздат, 1971. – 143с.
10. Теоретические и практические аспекты действия малых доз ионизирующих излучений: материалы Всесоюзного симпозиума, 4-6 сентября 1973г. – Сыктывкар: Комифилиал АН СССР, 1973. – 135с.
11. Юдинцева Е.В. Агрохимия радиоактивных изотопов стронция и цезия / Е.В. Юдинцева, М.В. Гулякин. – Москва: Атомиздат, 1968. – 472с.

12. Стрильчук Ю.Г. Изучение радионуклидного загрязнения по водотокам из штолен и ручьям горного массива Дегелен / Ю.Г. Стрильчук, О.И. Артемьев // Радионуклидное загрязнение территории Семипалатинского испытательного полигона. Р12: материалы научно-практической конференции по проекту МНТЦ К-053. – Алматы: Институт ядерной физики, 1999. – С. 73–80.
13. Алисов Б.П. Климаты СССР / Б.П. Алисов. – М.: Наука, 1969.
14. Федорович Б.А. Схема природного районирования Казахстана / Б.А. Федорович. – М.: Наука, 1969. – С. 289 – 307.
15. Гидрогеология горного массива Дегелен: отчет ИГИ НЯЦ РК по контракту DNA-001-95-179. – Курчатов: ИГИ НЯЦ РК, 1996.
16. Сваричевская З.А. Геоморфология Казахстана и Средней Азии / З.А. Сваричевская. – М.: МГУ, 1965.
17. Казахстан. Общая физико-географическая характеристика. – М.–Л., 1950.
18. Гидрогеология горного массива Дегелен: отчет ИГИ НЯЦ РК по контракту DNA-001-95-179. – Курчатов: ИГИ НЯЦ РК, 1996.
19. Карамышева З.В. Ботаническая география степной части Центрального Казахстана / З.В. Карамышева, Е.И. Рачковская. – М.: Наука, 1973.
20. Почвенная съемка / Под ред. И.В.Тюрина, И.П.Герасимова [и др.]. – М., 1959. – С. 46–103.
21. Тюрин И.В. Труды почвенного института им. Докучаева / И.В. Тюрин. – Т.38. – М., 1951. – 128 с.
22. Сборник методических указаний по лабораторным исследованиям почв и растительности Республики Казахстан. – Алматы, 1998.
23. Аринушкина Е.В. Руководство по почвенным химическим анализам / Е.В. Аринушкина. – М.: Московский университет, 1962. – 490 с.
24. Качинский Н.А. Физика почв / Н.А. Качинский. – М., 1965. – 323 с.
25. Полевая геоботаника. – М.: Наука, 1959. – Т. 1.- 444 с.; 1960. – Т. 2.- 500 с.; 1964. – Т. 3. – 530 с.; 1972. – Т.4. – 336 с.; 1976.– Т. 5. – 320 с.
26. Программа и методика биоэкологических исследований. – М.: Наука, 1974. – 403 с.
27. Исаченко А.Г. Методы полевых ландшафтных исследований и ландшафтно-экологическое картографирование / А.Г. Исаченко. – СПб, 1998. – 112 с.
28. Трансформация растительного покрова Казахстана в условиях современного природопользования: отчет о НИР / Рук. Огарь Н.П. – Алматы, 1997. – № ГРО 197 РК 0045. – 257 с.
29. Детально-маршрутное геоботаническое обследование территории. Институт ботаники и фитоинтродукции МОН РК 1994 г.
30. Султанова Б.М. Антропогенная трансформация растительности в местах проведения ядерных взрывов на территории бывшего Семипалатинского полигона: диссертация на соискание канд. биол. наук / Султанова Б.М. – Алматы, 2000.

«ДЕГЕЛЕН» СЫНАҚ АЛАҢЫНДАҒЫ ТОПЫРАҚ-ӨСІМДІК ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ СИПАТТАМАСЫ

¹⁾ Магашева Р.Ю., ²⁾ Султанова Б.М., ¹⁾ Паницкий А.В.

¹⁾ ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан

²⁾ ҚР БҒМ Ботаника және фитоинтродукция институты, Алматы, Қазақстан

Аталған мақалада, Семей полигонында жерасты ядролық сынақтар өткізілген кезеңде радиациялық ластануға және едәуір күйреуге ұшыраған Дегелен төментаулы массивінің топырақ-өсімдік жамылғысындағы қазіргі ахуалдың сипаттамасы берілген. «Топырақ-өсімдік» экожүйесінің түрлі құрауыштарындағы арабайланысының ерекшелігі анықталды және осының негізінде топырақ-өсімдік кешенінің сұлбалық картасы құрылды. Жеке бір құрауыштардың техногенді бұзылу дәрежесі анықталды және олардың қалпына келуін бақылаудағы алғашқы деректері берілді. Қалпына келу процесін анықтайтын негізгі факторлар анықталды және болжамдық әзірлемелер жасалды.

DESCRIPTION OF SOIL-PLANT COVER ON “DEGELEN” SITE

¹⁾ R.Yu. Magasheva, ²⁾ B.M. Sultanova, ¹⁾ A.V. Panitskiy

¹⁾ Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

²⁾ Institute of Botany and Phytointroduction MES RK, Almaty, Kazakhstan

The paper characterizes the current state of land cover of Degelen low-mountain massif who suffered considerable damage and radioactive contamination in the period of underground nuclear tests at the Semipalatinsk Test Site. The features of the interaction of different components of the ecosystem «soil-plant» have been revealed and on this basis a schematic map of soil-plant systems has been plotted. The degree of anthropogenic disturbances of individual components has been determined and primary monitoring results of their recovery are presented. The main factors that define the recovery process have been identified and prognosticative developments have been made.

УДК 622.278: 577.4:504.064

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССОВ ГАЗИФИКАЦИИ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПЯВ

Романенко В.В., Субботин С.Б., Чернова Л.В.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Данная работа является логическим продолжением ранее проведенных исследований. В работе приведены результаты обследования приустьевых площадок «боевых» скважин на территории испытательных площадок «Балапан» и «Сары-Узень». Установлены дополнительные скважины с аномальными концентрациями метана, водорода и диоксида углерода. В работе также приведены результаты многолетнего мониторинга концентрации ряда газов выделяющихся из оголовка скважины 1010. Установлено, что определяемые компоненты постепенно увеличиваются в составе выделяющейся газовой смеси, но отсутствие данных об изменении скорости потока газа пока не позволяют сделать более подробных выводов. Сделаны выводы и рекомендации относительно используемого измерительного оборудования.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время остается открытым вопрос о состоянии и устойчивости котловых полостей подземных ядерных взрывов (ПЯВ), проведенных в вертикальных выработках - скважинах на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона. Долговременные, скрытые под слоем горных пород поствзрывные геологические процессы постепенно, из года в год формируют условия для внезапного обрушения полостей.

В литературе приводятся сведения о том, что согласно результатам исследований 1990-2005 гг. на территории бывшего СССР и США (зачастую независимо от атомных ведомств) было обследовано множество зон ПЯВ. Одним из основных результатов этих исследований является обнаружение в окрестностях зон ПЯВ незатухающих с годами геодинамических подвижек недр в виде заметных преобразований рельефа местности, активизации склоновых процессов, микросейсм и землетрясений с магнитудой до 4-5, а также трансформации геофизических полей. Геодинамическая нестабильность недр в окрестностях зон ПЯВ выявлена и на военных ядерных полигонах [1]. О наличии поствзрывных процессов, которые продолжают в настоящее время и затрагивают не только непосредственно участки эпицентральных зон, но и ближайшие территории, свидетельствуют результаты наблюдений за состоянием дневной поверхности приустьевых площадок, геофизические исследования [2], факты газовыделения [3] и случаи обрушения полостей (скважина «Глубокая»).

Согласно [3] при наличии углесодержащих материалов, высоких температур в результате проведения ПЯВ и подземных вод может произойти возникновение процессов бескислородной деструкции горных пород. Признаки наличия таких процессов установлены на приустьевых площадках «боевых» скважин испытательных площадок «Балапан» и «Сары-Узень», в виде газовых аномалий с повышенными концентрациями таких газов как метан, диоксид уг-

лерода, водород в почвенном воздухе, которые могут являться продуктами подземного горения [2, 4, 5]. Как было установлено по результатам исследований 2010 года [6] газовые аномалии на территории приустьевых площадок скважин могут располагаться не только возле оголовка скважины, но и на удалении 200-300 метров. Сравнительный анализ показал, что данные о концентрации CO_2 , C_nH_m , H_2S , SO_2 в почвенном воздухе на приустьевых площадках «боевых» скважин не позволяют оценивать динамику процессов газификации, а для отслеживания динамики процессов газовыделения можно использовать данные о вариабельности концентрации метана и водорода в почвенном воздухе. В 2011 году продолжены исследования вариабельности концентрации метана и водорода, как в почвенном воздухе, так и в потоке газа, выделяющегося из оголовка скважины 1010. Измерения газов в почвенном воздухе проводились на «критических» скважинах площадок «Балапан» и «Сары-Узень».

Другая часть исследований была направлена на выявление газящих скважин, возможно неучтенных при проведении первичного газового обследования. По результатам исследований [3, 4, 7] отмечается значительная вариабельность концентрации некоторых газов по времени на приустьевых площадках скважин. В определенные периоды на «газящих» скважинах не наблюдается газовыделения, либо оно очень слабо проявлено. Для выявления дополнительных скважин, не выявленных ранее, проведено повторное обследование всех приустьевых площадок «боевых» скважин на территории испытательных площадок «Балапан» и «Сары-Узень».

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

1.1. Методика отбора проб газов

Для отбора проб почвенного воздуха использовались накопительные емкости (полиэтиленовые канистры объемом 10 л, снабженные патрубками для отбора проб воздуха), установленные в двух точках (на скважине 1010 одна из точек расположена непо-

средственно в оголовке скважины). При выборе точек установки накопительной емкости приоритетными считались места с нарушениями форм рельефа техногенного происхождения (трещины, провалы, воронки и т.д.), наиболее близко расположенные к оголовку скважины. Первоначально установленное расположение точек отбора проб не менялось на протяжении мониторинга. Герметичность достигалась путем заглубления емкости на 5-7 см и уплотнения грунта, прилегающего к ее стенкам. В результате процессов диффузии газа из почвы они накапливались в накопительной емкости.

Продолжительность выстаивания накопительных емкостей составляла не менее одних суток. По истечении суток осуществлялся отбор и анализ проб газовой смеси из накопительных емкостей. Длительность накопления газов выбрана согласно методике, описанной в [3].

В отобранных пробах проведен анализ по определению концентраций следующих газов: водород, метан, оксид углерода, сернистый ангидрид, сероводород, диоксид углерода, сумма углеводородов. Описание и характеристики используемого оборудования приведены в [8].

Для получения фоновых значений концентраций газов в почвенном воздухе проводилась установка накопительных емкостей в точках, значительно удаленных от приустьевых площадок. Контрольные точки располагались на расстояниях от 0,3 до 37,3 км от «боевых» скважин (рисунок 1). Отбор и анализ проб проводился аналогично методу, описанному выше.



Рисунок 1 – Схема расположения контрольных точек

Повторное газовое обследование почвенного воздуха приустьевых площадок «боевых» скважин испытательных площадок «Балапан» и «Сары-Узень»

Отбор проб почвенного воздуха проведен на территории приустьевых площадок 106 скважин испытательной площадки «Балапан» и 28 объектах площадки «Сары-Узень». На площадке «Сары-Узень» помимо 24 «боевых» скважин пробы отбирались на 4 объектах с признаками проведения неустановленного вида испытаний.

По возможности отбор проб проводился в тех же точках, что и первичное газовое обследование. На каждой при устьевой площадке скважин накопительные емкости устанавливались в двух точках.

Мониторинг концентрации газов в почвенном воздухе на приустьевых площадках «критических скважин»

Измерения проводились на приустьевых площадках «критических» скважин, выявленных по результатам ранее проведенных работ. Площадка «Балапан»: скважины 1010, «Глубокая», 1315, 1317, 1236, площадка «Сары-Узень»: 110, 104 и 125. Мониторинг проводился в период с 3 мая по 19 сентября. В среднем интервал между отборами проб воздуха составлял 30 дней. Общий период наблюдений составил 108 дней [4].

Мониторинг концентрации газов из оголовка скважины 1010

Измерения проводились с аналогичной периодичностью и в тоже время, что и мониторинг в почвенном воздухе. Пробы отбирались непосредственно из оголовка скважины.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ

2.1. Фоновые уровни

По результатам газовых измерений в контрольных точках получены фоновые значения концентрации газов (таблица 1). Концентрация, метана, оксида углерода, сероводорода и сернистого ангидрида в этих точках находится на уровнях ниже детектируемых. Концентрация водорода составила ~ 0,1%.

2.2. Обследование скважин

Площадка «Балапан»

Пробы газа были отобраны на территории приустьевых площадок 106 объектов испытательной площадки. Результаты обследования приведены в таблице 2. Численные значения концентрации диоксида углерода получены по 53 скважинам, что составляет половину всех скважин (50%); по метану - 22 скважины (20%), водороду – 84 скважины (79%).

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССОВ ГАЗИФИКАЦИИ
В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПЯВ**

Таблица 1 – Фоновая концентрация газов, полученная в контрольных точках, %

№ контр. точки	Расстояние до ближайшей «боевой» скважины, м	№ ближайшей «боевой» скважины	Фоновые концентрации газов					
			CO ₂	CO	H ₂ S	CH ₄	SO ₂	H ₂
1	493	1318	<0,002	<0,0002	<4E-6	<0,02	<3,5E-6	<0,001
2	600	1314	<0,002	<0,0002	<4E-6	<0,02	<3,5E-6	<0,001
3	325	1205	<0,002	<0,0002	<4E-6	<0,02	<3,5E-6	<0,001
4	850	1227	<0,002	<0,0002	<4E-6	<0,02	<3,5E-6	<0,001
5	1032	1005	<0,002	<0,0002	<4E-6	<0,02	<3,5E-6	<0,001
6	37300	1006	<0,002	<0,0002	<4E-6	0,8±0,16	<3,5E-6	<0,001
7	37300	1006	<0,002	<0,0002	<4E-6	<0,02	<3,5E-6	<0,001
8	37300	1006	<0,002	<0,0002	<4E-6	<0,02	<3,5E-6	0,10±0,02
9	37300	1006	<0,002	<0,0002	<4E-6	<0,02	<3,5E-6	0,10±0,02
10	12100	2613	<0,002	<0,0002	<4E-6	<0,02	<3,5E-6	<0,001
11	12100	2613	<0,002	<0,0002	<4E-6	<0,02	<3,5E-6	<0,001
12	240	2613	<0,002	<0,0002	<4E-6	<0,02	<3,5E-6	0,120±0,024
13	320	2613	<0,002	<0,0002	<4E-6	<0,02	<3,5E-6	<0,001

Таблица 2 – Результаты газового обследования. Максимальные значения концентрации газов

№ п/п	№ скважины	CO ₂ , (10 ⁻³ %)	CH ₄ , (10 ⁻¹ %)	H ₂ , (10 ⁻³ %)
1	1004	< 2	< 2	200±40
2	1005	< 2	< 2	55±11
3	1006	< 2	< 2	83±17
4	1007	< 2	< 2	< 1
6	1050	30±6	< 2	150±30
7	1053	96±19	< 2	< 1
8	1054	73±15	3±2	220±44
9	1056	35±7	< 2	200±40
10	1058	36±7	3±2	< 1
11	1061	< 2	< 2	34±7
12	1062	58±12	< 2	110±22
13	1064	< 2	< 2	< 1
14	1066	17±3	< 2	42±8
15	1067	< 2	3±2	300±60
16	1069	< 2	< 2	80±16
17	1071	5±1	< 2	26±5
18	1073	< 2	< 2	78±16
19	1075	< 2	< 2	69±14
20	1077	< 2	< 2	140±28
21	1079	< 2	< 2	79±16
22	1080	< 2	< 2	< 1
23	1083	< 2	< 2	300±60
24	1085	19±4	< 2	53±11
25	1086	< 2	8±2	< 1
26	1087	< 2	< 2	< 1
27	1201	12±2	4±2	200±40
28	1202	< 2	< 2	300±60
29	1203	< 2	< 2	210±42
30	1204	< 2	< 2	< 1
31	1205	21±4	4±2	290±58
32	1206	57±11	< 2	87±17
33	1207	19±4	< 2	< 1
34	1209	< 2	< 2	220±44
35	1211	< 2	3±2	170±34
36	1214	< 2	< 2	50±10
37	1219	33±7	< 2	120±24
38	1220	56±11	< 2	200±40
39	1222	< 2	< 2	300±60
40	1223	134±27	7±2	200±40
41	1224	< 2	< 2	190±38
42	1225	< 2	< 2	50±10
43	1226	< 2	< 2	< 1
44	1227	7±2	4±2	190±38
45	1228	< 2	< 2	62±12
46	1232	< 2	< 2	210±42
47	1233	30±6	3±2	94±19

№ п/п	№ скважины	CO ₂ , (10 ⁻³ %)	CH ₄ , (10 ⁻¹ %)	H ₂ , (10 ⁻³ %)
48	1234	125±25	< 2	55±11
49	1235	< 2	< 2	40±8
50	1236	340±68	8±2	28±5,6
51	1237	11±2	3±2	160±32
52	1267	< 2	< 2	200±40
53	1301	< 2	< 2	80±16
54	1302	< 2	< 2	75±15
55	1303	< 2	< 2	70±14
56	1304	9±2	< 2	< 1
57	1307	< 2	3±02	220±44
58	1308	< 2	< 2	70±14
59	1309	24±5	6±2	120±24
60	1312	39±8	< 2	200±40
61	1313	32±6	< 2	260±52
62	1314	49±10	< 2	120±24
63	1315	185±37	< 2	200±40
64	1316	30±6	< 2	350±70
65	1317	77±15	< 2	< 1
66	1318	95±19	< 2	61±12
67	1319	32±6	< 2	190±38
68	1320	11±2	< 2	300±60
69	1321	< 2	3±2	240±48
70	1322	31±6	6±2	240±48
71	1323	73±15	< 2	340±68
72	1325	< 2	< 2	310±62
73	1326	209±42	< 2	110±22
74	1328	4±2	5±2	210±42
75	1331	< 2	3±2	310±62
76	1332	< 2	< 2	< 1
77	1335	< 2	< 2	220±44
78	1336	< 2	< 2	190±38
79	1340	9±2	3±2	330±66
80	1341	< 2	< 2	170±34
81	1344	< 2	< 2	170±34
82	1346	< 2	< 2	250±50
83	1348	28±6	3±2	39±8
84	1350	13±3	< 2	< 1
85	1352	39±8	< 2	290±58
86	1353	23±5	< 2	48±10
87	1354	30±6	< 2	290±58
88	1355	60±12	< 2	360±72
89	1359	30±6	< 2	< 1
90	1361	9±2	< 2	240±48
91	1365	5±2	< 2	84±17
92	1366	< 2	< 2	< 1
93	1384	19±4	< 2	180±36

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССОВ ГАЗИФИКАЦИИ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПЯВ

№ п/п	№ скважины	CO ₂ , (10 ⁻³ %)	CH ₄ , (10 ⁻¹ %)	H ₂ , (10 ⁻³ %)
94	1388	23±5	< 2	< 1
95	1400	< 2	< 2	93±19
96	1410	14±3	< 2	95±19
97	1411	< 2	< 2	63±13
98	1412	13±3	< 2	110±22
99	1414	< 2	< 2	< 1
100	1415	< 2	< 2	< 1
101	1421	123±25	< 2	77±15
102	«Глубокая»	20±4	8±2	67±13
103	10616ис	< 2	< 2	120±24
104	1207 бис	39±8	< 2	150±30
105	А	< 2	< 2	< 1
106	Глубокая 1	< 2	3±2	< 1

Значения концентраций оксида углерода, сероводорода, углеводородов и сернистого ангидрида были ниже, чем предел обнаружения используемого оборудования.

Площадка «Сары-Узень»

Проведено обследование почвенного воздуха 24 «боевых» скважин площадки «Сары-Узень», в результате которого на приустьевых площадках некоторых скважин были установлены значения концентраций диоксида углерода и метана (таблица 3). Численные значения концентрации диоксида углерода получены по 26 скважинам (93%); по метану – 3 скважинам (11%).

Численные значения концентрации оксида углерода, сероводорода, углеводородов и сернистого ангидрида не установлены, так как они находились ниже предела обнаружения используемого оборудования.

2.3. Мониторинг газов в почвенном воздухе

На рисунке 2 приведены результаты определения концентрации водорода в пробах почвенного воздуха. Наибольшее количество случаев с повышенной концентрацией водорода отмечается в июне. Более высокими концентрациями водорода (до 0,94 %) характеризуется скважина «Глубокая». Следует также отметить скважину 110, только для этой скважины получены численные значения концентрации по всем датам измерения. Скважина 1236 характеризу-

ется низкими концентрациями, к тому же численные значения были получены только в мае и сентябре.

Таблица 3 – Результаты обследования на испытательной площадке «Сары-Узень». Максимальные значения по скважинам

№ п/п	№ скважины	CO ₂ , (10 ⁻³ %)	CH ₄ , (10 ⁻¹ %)
1	101	< 2	< 2
2	102	10±2	< 2
3	104	49±10	8±2
4	105	4±2	< 2
5	106	3±2	< 2
6	107	4±2	< 2
7	108	3±2	< 2
8	109	5±02	< 2
9	110	5±02	< 2
10	111	23±5	8±2
11	125	4±2	< 2
12	126	< 2	< 2
13	127	6±2	< 2
14	128	5±02	< 2
15	129	4±2	< 2
16	130	4±2	< 2
17	131	6±2	< 2
18	132	5±02	< 2
19	133	5±02	< 2
20	215	5±02	8±2
21	1003	4±2	< 2
22	2613	5±02	< 2
23	2691	3±2	< 2
24	2803	5±02	< 2
25	Х - 1	4±2	< 2
26	Х - 2	4±2	< 2
27	Х - 3	4±2	< 2
28	Х - 4	5±02	< 2

Метан. Наиболее высокие концентрации и наибольшее количество случаев повышенных концентраций метана выявлено в мае (таблица 4). В почвенном воздухе скважин 125 и 1010 повышенных концентраций не выявлено. На скважине 104 повышенные концентрации наблюдались единожды в мае.

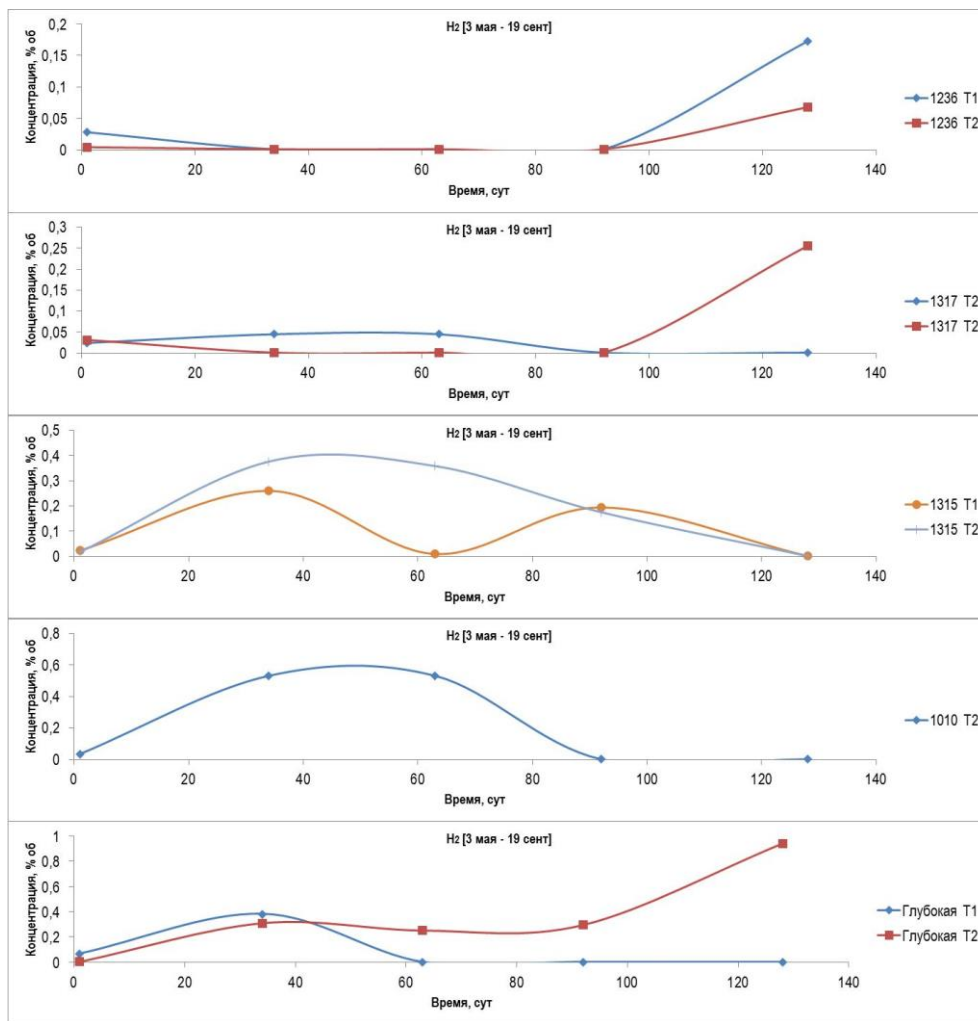
В целом можно отметить, что в июне наблюдается наибольшее газовыделение как по показаниям метана так и водорода. Если рассматривать по отдельности, то для водорода основное количество случаев зафиксировано в июне, метана – в мае.

Таблица 4 – Результаты определения концентрации метана

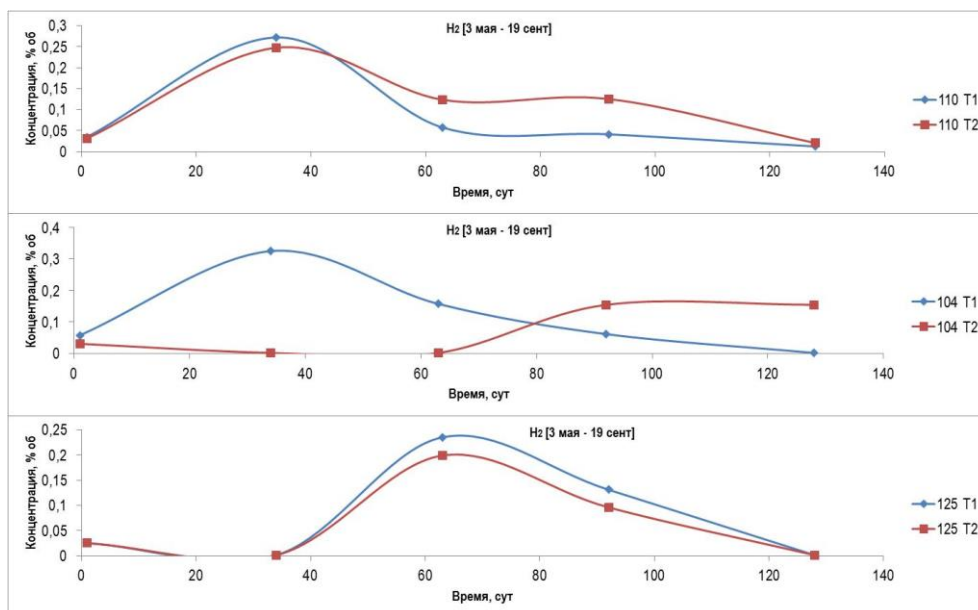
Скважина	время, сут									
	1*		36		61		80		110	
	точка отбора									
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
	концентрация, %									
110	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
1317	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
1010	—	< 0,2	—	< 0,2	—	< 0,2	—	< 0,2	—	< 0,2
1236	0,8±0,2	0,5±0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
1315	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,4±0,2
«Глубокая»	0,8±0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
125	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
104	0,8±0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2

Примечание: «—» – нет данных; * – дата начала мониторинга – 3 мая

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССОВ ГАЗИФИКАЦИИ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПЯВ



а)



б)

Рисунок 2 – Мониторинг концентрации водорода.
а – скважины площадки «Балапан», б – скважины площадки «Сары-Узень»

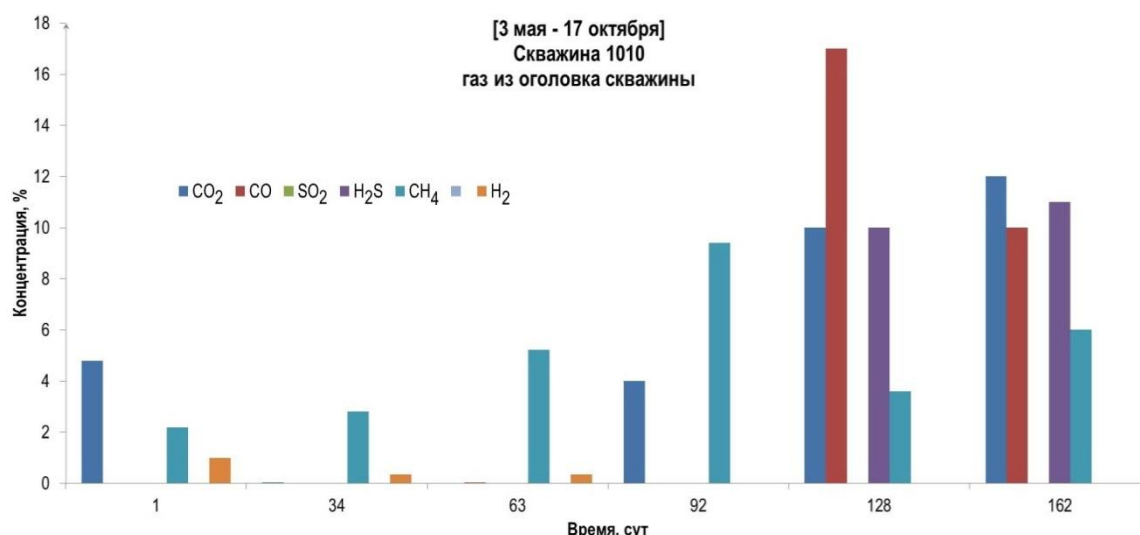


Рисунок 3 – Мониторинг концентрации водорода, метана, сернистого ангидрида

2.4. Мониторинг газа из оголовка скважины 1010

Результаты мониторинга концентрации газов из оголовка скважины в 2011 году показаны на рисунке 3. В период с мая по август отмечается в основном метан, диоксид углерода и водород. Преобладающим является неизвестный компонент в смеси. С сентября по октябрь возрастает концентрация CO₂, CO и H₂S.

На сентябрь-октябрь приходится основное количество определяемых газов, тогда как неизвестный компонент смеси снижает свою концентрацию. Преобладающим компонентом становится оксид углерода (17%), однако его концентрация в сентябре снижается до 10% против 12% CO₂. Сернистые газы аналогично более проявлены в конце периода измерений. К октябрю (162 суток) концентрация сероводорода достигает 11 %.

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТ И ВЫВОДЫ

Обследование скважин. Для классификации скважин было рассчитано (таблица 5) среднее значение концентрации газа – μ и s – стандартное отклонение по полученным данным газового обследования.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}$$

где: n – объем выборки; x_i – i -й элемент выборки; μ – среднее арифметическое.

В качестве массива данных использовались значения концентрации газов в почвенном воздухе приустьевых площадок «боевых» скважин испытательной площадки «Балапан».

Данный расчет проводился с определёнными допущениями. В связи с тем, что по многим скважинам численного значения концентрации не получено, в качестве расчетного для таких скважин, была выбрана минимальная детектируемая концентрация оборудования.

Согласно принятой классификации для детального обследования необходимо выбрать наиболее аномальные скважины по параметрам газовыделения: 1086, 1326, 1223, 1309, 1234 и 1322. Скважины 1236 и 1315 и «Глубокая» уже были отнесены к «критическим» ранее, данные еще раз подтвердили присутствие газовых аномалий.

В таблице 6 приведено сравнение максимальных значений концентрации газов на площадке «Балапан» и «Сары-Узень».

Таблица 5 – Площадка «Балапан» ранжирование скважин по концентрациям газов

Газ	$\mu - s$	$1s - 2s$	$2s - 3s$	$3s - 4s$	$4s - 5s$	$5s - 6s$	$5s - 6s$	$8s - 9s$
CO ₂	(196)	1054, 1062, 1206, 1220, 1317(2), 1323, 1355 [7]	1053, 1318, 1421	1223, 1234	1315	1326		1236
CH ₄	(197)	1205, 1211, 1227, 1321, 1331, 1340 [6]	1201, 1236, 1328	1322	1223, 1309	1236, «Глубокая» (1010)	1086	
H ₂	(176)	1054, 1067, 1083 (2), 1202, 1203, 1205, 1209 (2), 1209, 1222 (2), 1232, 1307, 1313 (2), 1320, 1321, 1322 (2), 1325, 1328, 1335, 1340, 1346, 1352, 1354, 1355, 1361 [24]	1316 (2), 1323 (2), 1325, 1331, 1340, 1355 [6]		(1010)			

*Таблица 6 – Сравнение максимальных значений
концентрации газов*

Газ	Площадка «Балапан», $C_{\max}$ %	Площадка «Сары-Узень», $C_{\max}$ %	$C_{\text{Бал}}/C_{\text{Суз}}$
CO ₂	0,34	0,05	7
CH ₄	0,79	0,75	1
H ₂	0,36	0,06	6

Приведенные данные показывают, что максимальные зафиксированные концентрации метана в почвенном воздухе на площадке «Сары-Узень» и «Балапан» примерно равны, а концентрация диоксида углерода и водорода различается в семь-шесть раз. Так как глубина заложения заряда и мощность взрыва на площадке «Балапан» в среднем большая, чем на площадке «Сары-Узень» это наводит на мысль, что не мощность заряда и его близость к поверхности являются определяющим фактором, где будут более высокие концентрации водорода и диоксида углерода.

Мониторинг газов на «критических» скважинах. Преобладающее большинство результатов (рисунок 2) показывает повышенные концентрации водорода в июне-июле.

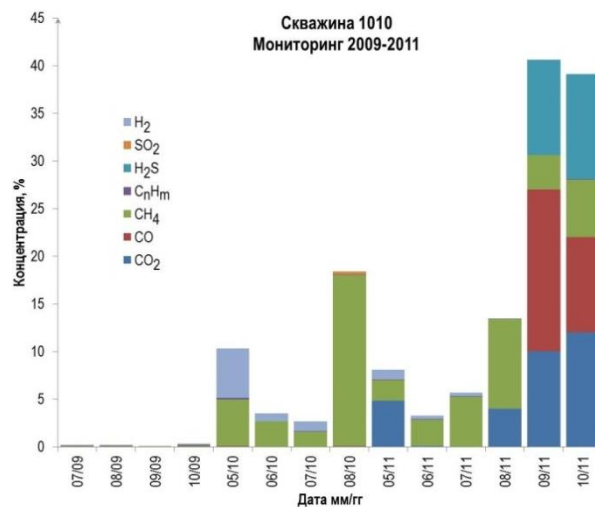
По различию кривых концентраций T1 и T2 на одной и той же скважине можно сделать предположение о том, что это связано как раз с неравномерностью распределения газового поля что подтверждается площадной газовой съемкой.

Полученные данные (таблица 2-4) однозначно показывают недостаточность предела обнаружения по метану и диоксиду углерода, не говоря уже о тех газах, которые вообще не были определены (сероводород, оксид углерода и сернистый ангидрид). Такое обстоятельство не позволило сделать более подробные выводы по полученным результатам. Мониторинг газовой выделения требует использования более чувствительных приборов для выявления закономерностей в динамике газовой выделения на «критических» скважинах.

Долговременный мониторинг газов на скважине 1010. Накопленные данные позволяют проследить изменение концентрации газов в потоке из оголовка скважины 1010 с 2009 по 2011 год. Результаты отображены на рисунке 4. Максимальной концентрации за период наблюдений достигает метан, концентрация около 18 %, также можно выделить оксид углерода (~16%). По данным 2011 года в потоке газа преобладает сероводород, монооксид углерода метан и диоксид углерода. В 2010 году состав был несколько иной. Основными компонентами были метан и водород.

В ходе исследований газов выделяющихся из оголовка скважины 1010 была выявлена динамика исследуемых газов, но нам до сих пор не известно, какое количество газа выделяется из скважины. Чтобы ответить на данный вопрос необходимо специ-

ально оборудовать оголовки скважины для проведения замеров. Расход газа из скважины является не менее важным параметром для оценки протекания процессов газовой выделения на скважине.



*Рисунок 4 – Результаты трехлетнего мониторинга газа,
выделяющегося из оголовка скважины 1010*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работ были установлены повышенные концентрации метана, водорода и диоксида углерода на скважинах площадки «Балапан» и «Сары-Узень». Исследования позволили выявить скважины с газовыми аномалиями: 1086, 1326, 1223, 1309, 1234 и 1322, которые необходимо дополнительно обследовать.

Мониторинг газов на скважине 1010 показал, что доля определяемых газов увеличивается в газовой смеси, выделяющейся из оголовка, однако увеличился ли поток газа или уменьшился пока не известно. Отдельный интерес представляют вариации газов за более короткие интервалы времени. Наблюдения за вариациями газа в течение месяца и в течение суток позволяют сделать вывод о влиянии атмосферных факторов на газовой выделение. Помимо этого остается не выясненным полный состав газа, который выделяется из оголовка скважины. За период наблюдений с мая по август как раз львиная доля приходится на те газы, которые мы пока не можем мерить. Пока что данный вопрос остался не решенным. Возможно, только использование хроматографических методов исследования позволит прояснить данный момент.

Так или иначе, часть возникающих проблем исследований в данной работе связана с недостаточностью предела обнаружения используемого оборудования. Таким образом, стоит пересмотреть аналитическую базу для достижения оптимальных параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голубов Б.Н. Проблема ревизии договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний и возобновления мирных подземных ядерных взрывов. /Б.Н. Голубов // Вестник НЯЦ РК. – 2005. – Вып. 2. – С. 73–90.
2. Обеспечение Безопасности Бывшего Семипалатинского Испытательного Полигона Республиканская Бюджетная программа 011 «Обеспечение радиационной безопасности»: отчет о НИР (информационный) по договору № 17–2009 от 26.06.2009 г. /ИРБЭ НЯЦ РК; рук. Лукашенко С.Н. – Курчатов: ИРБЭ НЯЦ РК, 2009.–164 с.
3. Субботин С.Б. Оценка возможностей протекания процессов катастрофического характера на площадке «Балапан» / С.Б. Субботин, С.Н. Лукашенко // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007 – 2009 гг.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Вып. 2. – Павлодар: Дом печати, 2010. – С. 401–450.
4. Романенко В.В. Исследование характера газоносности на площадке «Балапан» / В.В. Романенко, С.Н. Лукашенко // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2010 г.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Т. 2. – Вып. 3. – Павлодар: Дом печати, 2011. – С. 275–294.
5. Обеспечение Безопасности Бывшего Семипалатинского Испытательного Полигона Республиканская Бюджетная программа 011 «Обеспечение радиационной безопасности»: отчет о НИР (итоговый) по договору № 36-2008/1 от 10.10.2008 г. /ИРБЭ НЯЦ РК; рук. Лукашенко С.Н.; исполн.: Демин В.Н. – Курчатов: ИРБЭ НЯЦ РК, 2008. – 121 с.
6. Обеспечение Безопасности Бывшего Семипалатинского Испытательного Полигона Республиканская Бюджетная программа 038 «Обеспечение радиационной безопасности»: отчет о НИР (информационный) по договору № 4-20103 от 19.02.2010 /ИРБЭ НЯЦ РК; рук. Лукашенко С.Н. – Курчатов: ИРБЭ НЯЦ РК, 2010. – 128 с.
7. Отчет о научно-исследовательской работе по разделу 04 комплексные научные исследования по геолого - геофизическим аспектам ядерно-энергетической отрасли и режима нераспространения: отчет о НИР.– Курчатов: НЯЦ РК, 2011.
8. Субботин С.Б. Результаты рекогносцировочного исследования газовыделений у площадки «Сары-Узень» /С.Б. Субботин В.В. Романенко, С.Н. Лукашенко, С.Б. Субботин // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2010г.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Т. 2. – Вып. 3. – Павлодар: Дом печати, 2011. – С. 251–274.

ЖҰЯЖ ӨТКІЗІЛГЕН ЖЕРЛЕРДЕГІ ГАЗИФИКАЦИЯЛАУ ҮДЕРІСТЕРІНІҢ ӨТУІН ЗЕРТТЕУ

Романенко В.В., Субботин С.Б., Чернова Л.В.

ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан

Аталған мақала, бұдан бұрын өткізілген зерттеулердің логикалық жалғасы болып табылады. Мақалада, «Балапан» және «Сары-Өзен» сынақ алаңдарының аумағындағы «әскери» ұңғымалардың сағалық алаңдарын зерттеу барысында алынған нәтижелері келтірілген. Метан, сутегі және көміртегі диоксиді ауытқымалы түрде шоғырланған қосымша ұңғымалар орналастырылды. Сонымен қатар, 1010 ұңғымасының аузынан шығып жатқан бірқатар газдардың шоғырлануының көпжылдық мониторингісінің нәтижелері келтірілген. Анықталып жатқан құрауыштар біртіндеп бөлініп жатқан газды қоспаның құрамында біртіндеп ұлғайып келе жатқаны анықталды, алайда газдың бөліну ағынының жылдамдығы өзгергені жайлы деректердің болмауы себепті жан-жақты тұжырымдар жасау мүмкіндігі жоқ. Қолданыстағы өлшеу жабдығына қатысты ұсыныстар мен қорытындылар жасалды.

GASIFICATION PROCESS ON UNE SITES

V.V. Romanenko, S.B. Subbotin, L.V. Chernov

Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

This work is a continuation of previous studies. The paper presents results of the survey of “warfare” wells’ moth areas in at “Balapan” and “Sary-Uzen” sites. More wells with abnormal concentrations of methane, hydrogen and carbon dioxide were found. The paper also presents the results of long-term monitoring of the concentration of a number of gases released from borehole 1010. It was established that the components are gradually increased in the evolved gas mixture, but the lack of data on changes in the gas flow rate does not allow a more detailed conclusions. Conclusions and recommendations were made regarding the use of measuring equipment.

УДК 577.4: 622.278: 621.039.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОНОСНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ ОТЖИГА КЕРНА

Романенко В.В., Субботин С.Б.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В статье представлены результаты оценки изменения массы образцов породы при температурной нагрузке в различных режимах. Образцы породы были отобраны в местах проведения ПЯВ. Установлено, что основная масса летучих компонентов выделяется при температурах около 800 °С в течение не более 12 часов. Данные исследования являются частью исследований последствий проведения подземных ядерных взрывов на бывшем Семипалатинском испытательном полигоне.

ВВЕДЕНИЕ

На испытательных площадках Семипалатинского ядерного полигона проведен 131 [1] подземный ядерный взрыв (ПЯВ) в скважинах. Основная часть ПЯВ проведена на территории испытательных площадок «Балапан» и «Сары-Узень». В настоящее время, спустя 23 года после проведения последнего ПЯВ, на территории испытательных площадок наблюдаются признаки развития пост-взрывных процессов. Как показывают результаты исследований [2, 3, 4, 5 и др.], в эпицентрах некоторых ПЯВ происходит протекание долговременных остаточных процессов, являющимися, по всей вероятности, процессами частичной или неполной газификации углеродсодержащих горных пород без доступа воздуха в сочетании с пиролитическими процессами. Причиной возникновения таких процессов могут служить наличие трех факторов, характерных для испытательных площадок, где проводились ПЯВ: наличие углеродсодержащих материалов в горных породах, высокие температуры ПЯВ, а также наличие подземных вод в результате увеличенной трещиноватости [4]. Иными словами пост-взрывные процессы газификации горных пород распространены в обводненных участках углефицированных пород в областях подвергшихся тепловой нагрузке при проведении ПЯВ.

Вполне очевидно, что выгорание углеродсодержащих пластов влечёт за собой разогрев близлежащих пластов горных пород, не подверженных горению. В результате такого взаимодействия можно ожидать выделение из этой породы органической и газовой составляющей.

Особенностью геологического строения площадки "Балапан" является наличие разнообразных и разновозрастных пород. Горные породы на данной территории в результате воздействия поражающих факторов ПЯВ, предрасположены к возникновению и протеканию процессов подземного горения. В большей степени к участию в этом процессе предрасположены отложения распространенные в центральной части площадки, это отложения юры, а так же отложения каменноугольной системы (пласты углей, углистые алевролиты и сланцы) [4].

Геологическое строение площадки «Сары-Узень» подробно приведено в работе [4]. Отмечается нали-

чие углистых отложений, которые относятся к каменноугольной системе (C_{1V1}) и представлены сероцветами, разнотекстурными, полимиктовыми песчаниками и темно-серыми и черными углито-глинистыми сланцами. Углистость отложений является их характерной особенностью. Мощность отложений 150-200 м.

Таким образом, на обеих площадках, где проводились ПЯВ, имеются породы с содержанием углистого материала.

В результате проведения ПЯВ выделяется колоссальное количество тепловой энергии, которое поглощается горной породой, вызывая термические превращения. При наличии повышенных температур угли, а также и углеродсодержащие вещества могут подвергаться термической деструкции, пиролизу. Например, при нагревании угля до 120 °С выделяются физически связанная влага, адсорбируемые углем газы (диоксид углерода, метан и др.). При этом не наблюдается заметного разложения органической массы угля, хотя не исключены определённые изменения её внутренней структуры. При температурах более 200 °С начинается выделение некоторого количества воды, образующейся при термическом разложении органической массы угля, а также оксида и диоксида углерода. Это является результатом достаточно сложных химических превращений. В диапазоне 250-325 °С процессы разложения угольного вещества усиливаются. Идёт интенсивное выделение паров воды, оксидов углерода, выделяется некоторое количество сероводорода и органических соединений серы. Глубокое разложение органической массы угля, выделение жидких в обычных условиях веществ (смолы) завершается при температуре около 550 °С. В результате выделения вышеперечисленных составляющих породы, так или иначе, повлечет за собой изменение ее массы. В данной работе сделана попытка оценить и сравнить изменение массы различных образцов пород в результате термических превращений. Для исследований, соответственно выбраны образцы пород взятых с территории испытательных площадок «Балапан» и «Сары-Узень», где проводились ПЯВ.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

1.1. Отбор проб

Для исследования использовался керн (рисунок 1), отобранный из ранее пробуренных скважин, глубина которых достигала 100 метров. Образцы керна представляли собой куски породы цилиндрической

формы, которые сформировались в результате колонкового бурения. Длина образцов от 10 до 25 см.

На основе имеющихся данных по геологическому строению площадок и по визуальным признакам пробы были отнесены к тем или иным типам породы. Сведения об отобранных пробах керна приведены в таблице 1.



Рисунок 1 – Общий вид проб керна

Таблица 1 – Сведения об отобранных пробах

№ п/п	Тип породы	Площадка	Координаты точек отбора проб	
			x	y
1	туфолавы	«Сары-Узень»	77,6593	49,9760
2	туфолавы		77,7016	49,9338
3	туфолавы		77,6738	49,9521
4	туфолавы		77,7452	49,9141
5	туфолавы		77,6593	49,9760
6	алевролит		77,7636	49,9022
7	алевролит		77,7636	49,9022
8	алевролит		77,7636	49,9022
9	туфолавы		77,6738	49,9521
10	туф (кварцево-карбонатные прожилки, кальцит)	«Балапан»	78,9819	50,0113
11	конгломерат (юра)	«Балапан»	78,9761	49,9947
12	туфопесчаник		78,9684	49,9975
13	алевролит		78,8012	49,9140
14	алевролит (углистый)		78,9742	50,0019
15	туф (андезито-порфировый)		78,9819	50,0113
16	туф (андезито-порфировый)		78,9684	49,9975
17	туф		78,9819	50,0113
18	туф (андезито-порфировый)		79,0043	50,0332
19	туф		79,0043	50,0332
20	туф (андезито-порфировый)		79,0184	50,0382
21	алевролит		79,0075	50,0273
22	алевролит		79,0229	50,0398
23	туф		78,9814	50,0072
24	конгломерат (юра)		78,9761	49,9947
25	туф		79,0184	50,0382
26	туф		78,9742	50,0019
28	туф		78,9924	50,0070
29	гранит		78,7693	49,8743

Для более полного представления об отобранных пробах ниже приведены краткие сведения по большинству пород.

Алевролит – цементированный алеврит. Алеврит – рыхлая обломочная осадочная порода, промежуточная между песчаными и глинистыми породами. Преобладающий размер зерен 0,1-0,01 мм.

Туф – Вулканические и известковые. Вулканические туфы – горные породы, образовавшиеся из твердых продуктов вулканических извержений: пепла, песка, лапилли и бобм. Известковые туфы – пористая, ячеистая порода, образовавшаяся в результате осаждения карбоната кальция как из горячих, так и из холодных источников.

Песчанник – представляет собой цементированный песок с размерами зерен 2,0 – 0,2 мм.

Туфолавы – вулканические породы с туфовой массой, состоящей из лавы и пепла, и сравнительно крупными включениями темного стекла, внедренными в эту массу.

Конгломерат – цементированный галечник. Галька по составу может быть различна или однородна. Большинство ископаемых галечников, древнее четвертичных, являются конгломератами.

Гранит – полнокристаллическая магматическая порода, состоящая из более или менее равных количеств калиевого полевого шпата, кислого плагиоклаза и кварца и подчиненного количества одного или нескольких цветных минералов: биотита, мусковита, амфибола и реже пироксена [7].

1.2. Выбор параметров исследований

На основе сведений о термических превращениях углеродсодержащих веществ был выбран температурный диапазон отжига керн. Для получения более полных сведений, а также для сравнения с некоторыми архивными данными диапазон отжига был расширен до 1000 °C (таблица 2).

1.3. Описание эксперимента

Для получения образцов, пробы керн были измельчены в два этапа. Первоначально измельчение проб осуществлялась вручную, до фракции приблизительно 2×2 см для последующей возможности обработки на лабораторной мельнице. Далее пробы были измельчены с использованием лабораторной мельницы Pulverisette 9 и доведены до фракции около 1 мм.

Затем для удаления не перемолотой части керн пробы были просеяны, с использованием сита с диаметром ячеек 1 мм. Каждая проба была тщательно перемешана и квартованием разделена на 3 образца каждая, массой по ≈100 г для воспроизводимости результата. Взвешивание каждого образца производилось на технических весах с точностью не менее 0,01 г. Общий вид образцов керн на различной стадии приведен в таблице 3.

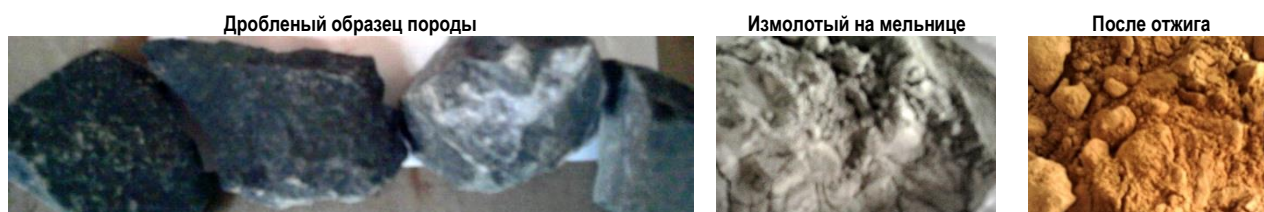
Для проведения отжига использовалась лабораторная электропечь SNOL-7,2/1100. Используемая печь позволяет производить отжиг до 24 образцов одновременно. После контрольного взвешивания образцы были помещены в муфельную печь при комнатной температуре (t_0). Далее образцы нагревались и выдерживались при температуре t_1 не менее 12 часов. Затем все образцы извлекались для взвешивания и возвращались обратно для повторного выдерживания при температуре t_1 . Затем образцы извлекались второй раз для взвешивания. Затем образцы загружались в печь для отжига при температуре t_1 за исключением образцов со стабилизировавшейся массой. Затем, после того как, все образцы (в количестве 24) были стабилизированы по массе температура отжига переключалась на t_2 ; и весь процесс повторялся заново вплоть до t_8 .

Для исключения вбирания атмосферной влаги образцами в процессе остывания они были помещены в эксикатор. Взвешивание проводилось на технических весах с точностью не хуже 0,01 г.

Таблица 2 – Вероятные температуры протекания процессов подземного горения

i	1	2	3	4	5	6	7	8
t_i	105 °C	200 °C	250 °C	300 °C	400 °C	600 °C	800 °C	1000 °C

Таблица 3 – Общий вид образцов керн на различной стадии



2. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

2.1. Результаты оценки потери массы образцов керна

Данные, полученные по результатам отжига, представлены на рисунках 2-5.

Площадка «Балапан»

Алевролит. К данному типу пород были отнесены три пробы керна. Выгорание породы составило от 0,16 до 0,79 % массы в диапазоне от 105 до 400 °С и от 1,71 до 7,17 в диапазоне от 600 °С до 1000°С. Переход от 400 °С до 600 °С сопровождается увеличением потери массы более чем в 3 раза. Проба углистого алевролита при отжиге в диапазоне от 105 до 400 °С имеет наибольший процент выгорания по сравнению с другими породами, далее, до 1000°С наблюдается обратная ситуация.

Конгломерат. Если в диапазоне от 105 до 400 °С значения процента выгорания в пределах среднего по таблице, то начиная с температуры 600 °С образцы конгломерата имеют максимальный процент выгорания 4,5%, что более чем на 1,5% больше, чем другие породы, и при 1000°С он достигает ~ 8,8 %. Переход от 400 °С до 600 °С сопровождается увеличением потери массы более чем в 4 раза.

Туф. Проведен отжиг 21 образца керна относящихся к туфам. В диапазоне от 105 до 400 °С разброс значений составлял 0,17 – 0,27%. В диапазоне от 600 °С до 1000 °С это значение составило уже 1-1,3%. Переход от 400 °С до 600 °С сопровождается

увеличением потери массы более чем в 3 раза. Максимальное значение при 1000 °С составило 3,92%. Для туфов андезитового-порфирового состава значения процента выгорания несколько меньшие, чем туфов – в среднем на ~ 0,1 %.

Туфопесчанник. Выгорание породы составило от 0,42 до 0,79 % в диапазоне от 105 до 400 °С и от 2,27 до 3,21 в диапазоне от 600 °С до 1000 °С. В диапазоне от 400 °С до 600 °С максимальное значение изменяется от 0,79 до 2,28.

Гранит. По гранитам получены наименьшие показатели потери массы, что характеризует породу как более устойчивую к тепловым нагрузкам. Выгорание породы составило от 0,13 до 0,43 % в диапазоне от 105 до 400 °С и от 1,29 до 1,83 в диапазоне от 600 °С до 1000 °С. Переход от 400 °С до 600 °С сопровождается увеличением потери массы примерно в 3 раза.

Максимальный процент выгорания породы составил 8,8 % по результатам отжига пробы 49452 (конгломерат, Юра). В целом до температуры 400 °С происходит незначительная потеря массы образца, которая в среднем не превышает 0,7%. При температуре 600 °С среднее значение составляет уже 2%. Основная масса выгоревшей части образца приходится на диапазон от 600 °С до 800 °С. После повышения температуры от 600 до 800 °С процент выгорания повысился на 1,5% в среднем, а после повышения до 1000 °С вырос на 0,2% в среднем.

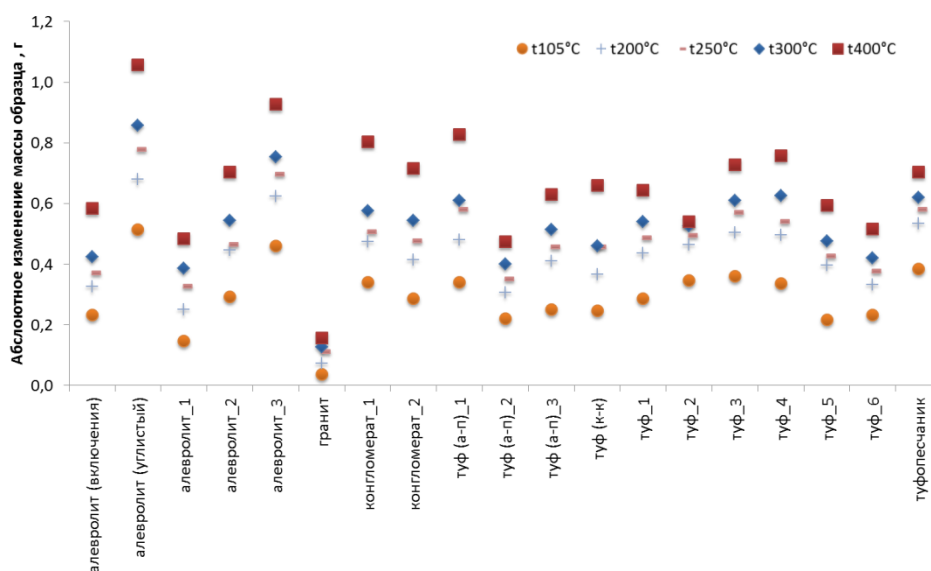


Рисунок 2 – Характер изменения массы образцов породы площадки «Балапан» в диапазоне от 105 до 400 °С

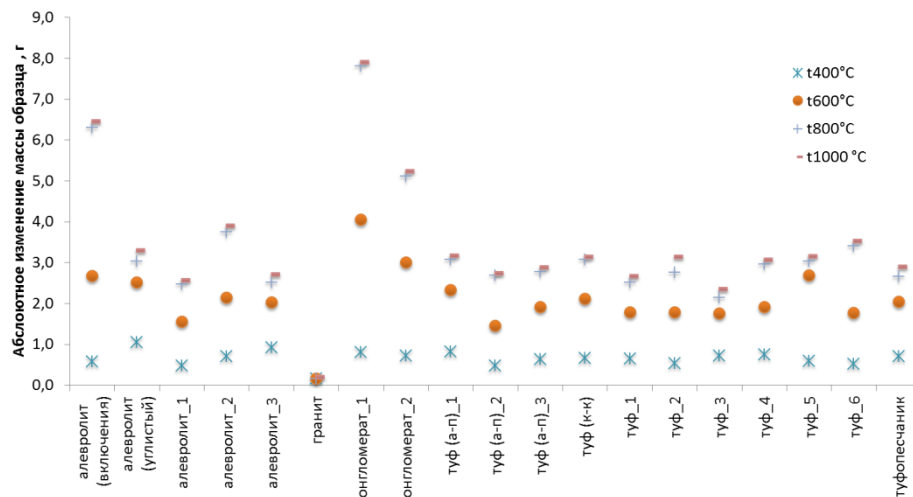


Рисунок 3 – Характер изменения массы образцов породы площадки «Балапан» в диапазоне от 400 до 1000 °С

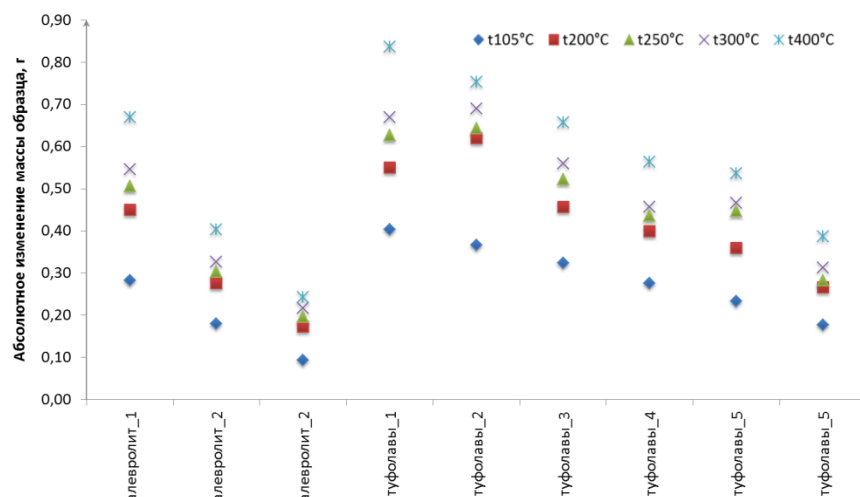


Рисунок 4 – Характер изменения массы образцов породы площадки «Сары-Узень» в диапазоне от 105 до 400 °С

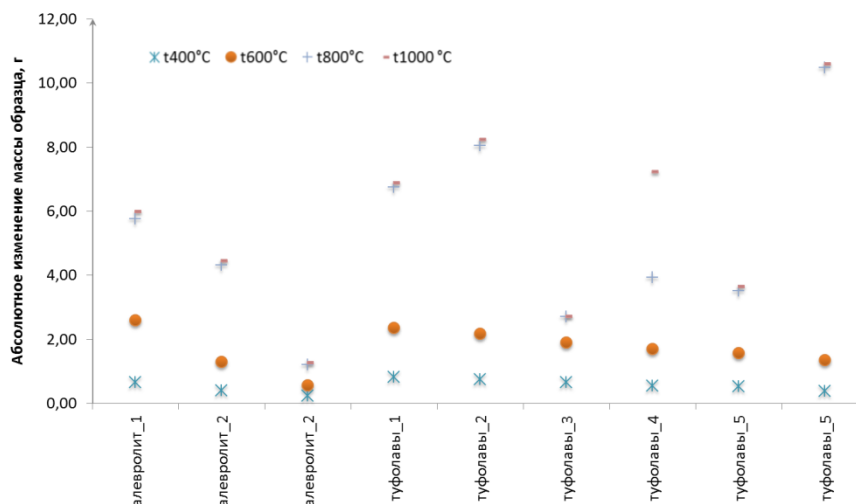


Рисунок 5 – Характер изменения массы образцов породы площадки «Сары-Узень» в диапазоне от 400 до 1000 °С

Площадка «Сары-Узень»

Туфолав. Аналогично весь диапазон температур можно условно разделить на два отрезка. Первый – от 105 до 400 °С, потеря массы не превысила одного процента и составила от 0,19 до 0,93. Во втором отрезке от 400 до 1000 °С потеря массы нелинейно возрастает от 1,5 до 11,8 %, основная масса выгоревшего образца была при температуре 800 °С.

Алевролит. Выгорание породы составило от 0,1 до 0,76 % массы в диапазоне от 105 до 400 °С и от 0,63 до 6,7 в диапазоне от 600 °С до 1000 °С, т.е. практически аналогично, что и алевролиты, отобранные на площадке «Балапан».

В целом по всем образцам с площадки «Сары-Узень». Максимальный процент выгорания породы составил 11,8 % по результатам отжига пробы туфолавов.

2.2. Обсуждение результатов

На рисунке 6 показан характер изменения массы образцов в зависимости от температуры отжига. Согласно приведенным данным в диапазоне до 500 °С наибольшее выгорание происходит в образцах углестого алевролита. При этом выгорание породы во всех образцах от точки к точке имеет схожий характер. При температуре ниже ~600 °С выделяется мало летучего материала из проб породы. Аналогичные данные были получены в работе [8] при исследовании породы Рио Бланко.

При температуре 600 °С характер распределения процентов выгорания не схож с другими при более высоких или более низких температурах. Вполне возможно, что в диапазоне от 400 °С до 800 °С происходит выгорание одного общего для всех образцов вещества, которое содержится в разных количествах. В углеродсодержащих породах, как было сказано выше, происходит процесс разложения органической массы угля, который завершается при температуре около 550 °С.

При температуре более 600 °С образцы туфолав и конгломерата обладают наибольшим процентом потери массы, при этом при значении температуры отжига 800 °С и 1000 °С характер распределения процента выгорания по образцам одинаковый.

Результаты, полученные в работе, необходимо сравнить с аналогичными, имеющимися в архивах. В архивной информации есть только результаты для температур отжига 105, 500 и 1000 °С.

Из рисунка видно, что средние значения по архивным данным более высокие, чем полученные в данной работе.

Судя по тому, что при повышении температуры от 800 °С до 1000 °С значительного изменения массы образцов не происходит можно сделать вывод, что основная доля летучих компонентов выделяется из породы уже при 800 °С в течение <12 часов.

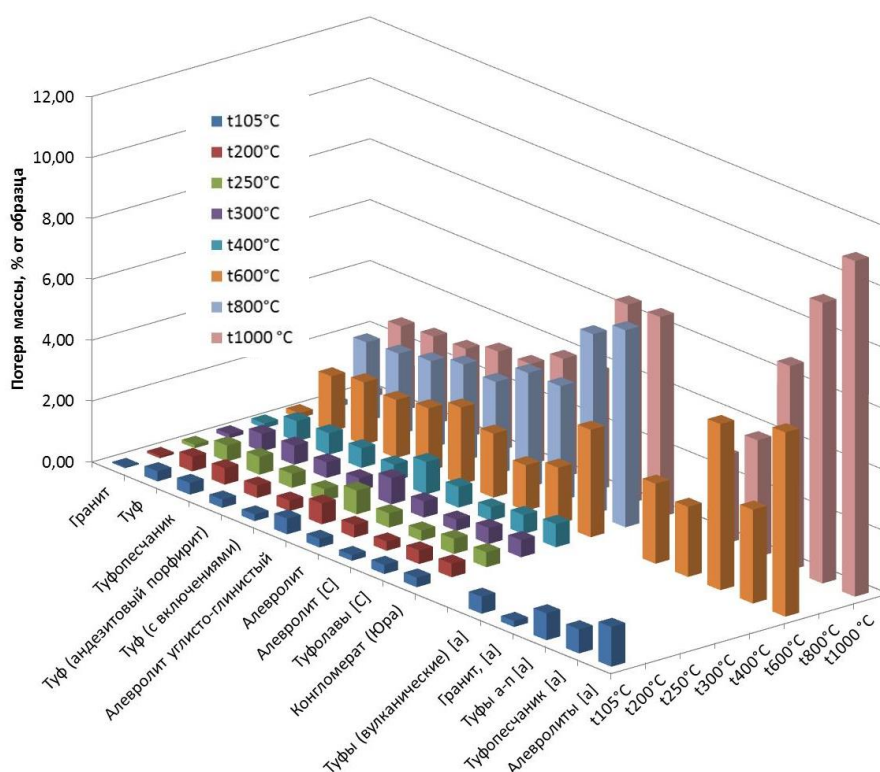


Рисунок 6 – Сравнение изменения массы образцов породы (усредненные значения по образцам породы площадки «Балапан», «Сары-Узень» [C] и по архивным данным [a])

Таблица 4 – Сравнение изменения массы образцов породы

Тип породы	105 °С		600 °С		1000 °С	
	Архивные данные	Полученные данные	Архивные данные	Полученные данные	Архивные данные	Полученные данные
Алевролиты	0,33 - 2,28	0,16 - 0,33	3,78 - 8,31	1,71 - 2,98	2,72 - 19,3	2,83 - 7,17
Туфы а-п	0,21 - 1,55	0,18 - 0,29	2 - 8,9	1,61 - 2,12	2,5 - 10,9	3,03 - 3,64
Туфы (вулканические)	0,35 - 0,76	0,23 - 0,4	1,84 - 3,41	1,93 - 2,99	2,23 - 3,55	2,59 - 3,92
Туфопесчаник	0,1 - 1,48	0,42 - 0,43	1,03 - 5,12	2,27 - 2,28	1,3 - 17,1	3,21 - 3,21
Гранит	0,14 - 0,25	0,13 - 0,14	1,36 - 3,24	1,29 - 1,30	2,09 - 5,57	1,82 - 1,83

Если сравнить диапазоны полученных значений (таблица 4) то получаем, что для пород туфы андезитово-порфириновые, туфопесчаники и туфы имеется перекрытие по всем трем температурам – данные совпадают. Для гранитов совпадение только при 105 °С. Данные по алевролитам не совпадают только при 600 °С. Табличная обработка данных показывает, что перекрытие диапазонов полученных значений процента потери массы составляет в 80% определений, а точное совпадение составило 46%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Проведение данной работы позволило получить сведения о проценте выгорания породы при различных температурах, а также получить характер изменения массы при отжиге керна.

В настоящее время получение сведений о свойствах пород, залегающих в районе эпицентров ПЯВ, связано с определенными трудностями. Во-первых, не имеется в наличии образцов керна, отобранных при бурении структурных скважин во время подготовки подземных ядерных испытаний, в связи с тем, что они были либо увезены в РФ, либо захоронены как потенциальный источник секретной информа-

ции. Во-вторых, глубокое бурение, в местах ПЯВ в настоящее время представляет определенную опасность для персонала. Таким образом, единственным источником информации могут быть частичные данные из архивов, образцы породы, которые можно считать достаточно близкими по свойствам к породам в районе эпицентров ПЯВ. В данной работе использовались образцы керна, отобранные при бурении гидрогеологических скважин, и были получены значения процента выгорания породы.

Сведения о проценте потери массы горных пород, полученные в данной работе, могут быть применены для оценочных расчетов увеличения пустотности горных пород в результате теплового воздействия на горные породы в местах ПЯВ.

Авторы статьи выражают благодарность сотрудникам Института радиационной безопасности Мельничуку А.А. за подготовку проб, Лобачевой Н.Н. за проведение лабораторных исследований и Захаровой Н.В. за помощь в подготовке раздела 3.3. Отдельную благодарность авторы статьи выражают Лукашенко С.Н. за помощь в подготовке статьи и ее корректировку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ядерные испытания СССР. Цели, общие характеристики, организация ядерных испытаний. – Т. 1. – Саров: ВНИИЭФ, 1997.
2. Андреев А.И. Идентификация мест выхода газообразных радиоактивных продуктов из горного массива на дневную поверхность по проявлениям тепловой аномалии в эпицентральной зоне подземного ядерного взрыва / А. И. Андреев // Вестник ТОГУ. - 2008. - №1 (8).
3. Комплексные научные исследования по геолого – геофизическим аспектам ядерно- энергетической отрасли и режима нераспространения: отчет о НИР. – Курчатов, 2011.
4. Субботин С.Б. Оценка возможностей протекания процессов катастрофического характера на площадке «Балапан» / С.Б. Субботин, С.Н. Лукашенко // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007 – 2009 гг.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Вып. 2. – Павлодар: Дом печати, 2010. – С. 401 - 450.
5. Романенко В.В. Исследование характера газоносности на площадке «Балапан» / В.В. Романенко, С.Н. Лукашенко // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2010г.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Т. 2. – Вып. 3. – Павлодар: Дом печати, 2011. – С. 275– 294.
6. Романенко В.В. Результаты рекогносцировочного исследования газовыделений у площадки «Сары-Узень» / В.В. Романенко, С.Н. Лукашенко, С.Б. Субботин // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2010 г.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Т. 2. – Вып. 3. – Павлодар: Дом печати, 2011. – С. 251-274.
7. Геологический словарь / под ред. А.Н. Криштофовича. – Т. I; II. - Москва: ВСЕГЕИ, 1955.
8. Тейлор Р.У. Тепловые эффекты в породе при взрыве Рио Бланко: [пер с англ] / Р.У. Тейлор, Д.У. Боуэн, П.Е. Росслер. – Москва, 1976.

КЕРНДЫ КҮЙДІРУ ТӘСІЛІМЕН ТАУ ЖЫНЫСТАРЫНЫҢ ГАЗТҰНУЫН ЗЕРТТЕУ

Романенко В.В., Субботин С.Б.

ҚР ҰАО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан

Мақалада, түрлі режимдегі температуралық жүктемелеу барысында тау жыныстары үлгілерінің салмағының өзгерісін бағалау нәтижелері келтірілген. Тау жыныстарының үлгілері ЖЯЖ өткізілген жерлерден алынды. Ұшпа құрауыштардың негізгі бөлігі температурасы шамамен 800 °C барысында 12 сағаттан ұзақ емес уақыт бойында бөлінетіні анықталды. Аталған зерттеулер, бұрынғы Семей сынақ полигонындағы жүргізілген жерасты ядролық жарылыстардың зардаптарын зерттеу жұмыстарының бір бөлігі болып табылады.

STUDY OF GAS PRESENCE IN THE ROCK FORMATION BY CORE ANNEALING

V.V. Romanenko, S.B. Subbotin

Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The paper presents the assessment of changes in the mass of rock samples with temperature load in different regimes. Rock samples were taken at sites of UNE. It was found that most of the volatile components are released at temperatures of about 800 °C for up to 12 hours. These studies are part of research into the consequences of underground nuclear explosions at the Semipalatinsk test site.

УДК 631.4:504.3.054:541.28:539.16

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА НА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ» ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ

Турченко Д.В., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О., Паницкий А.В.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Приведена оценка загрязнения воздушной среды при ведении сельского хозяйства на радиоактивно загрязненной территории площадки «Опытное поле». Получены количественные данные о содержании техногенных и естественных радионуклидов в воздушной среде жилой, сельскохозяйственной зоны и зоны дыхания. Содержание естественных и техногенных гамма-излучающих радионуклидов ^{40}K , ^{228}Ac , ^{214}Bi и ^{137}Cs , ^{241}Am , а также ^{90}Sr в воздушной среде не превышало предел обнаружения. При проведении сельскохозяйственных работ, связанных с воздействием на почвенный покров (перекопка и боронование почвы), концентрация радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ в воздушной среде может достигать $30\,000\text{ мкБк/м}^3$. В зоне дыхания также получены повышенные концентрации $^{239+240}\text{Pu}$, превышающие допустимую объемную активность (ДОВА) для категории населения.

ВВЕДЕНИЕ

При проведении сельскохозяйственных работ на территории, загрязненной трансураниевыми радионуклидами, концентрации которых в почвенном покрове могут достигать уровней 10^4 Бк/кг , необходимо проведение оценки загрязненности воздушного бассейна при различных производственных и климатических условиях.

Загрязнение воздушной среды, как правило, происходит вследствие естественного и техногенного подъема пылевидных фракций почвенного покрова в атмосферную среду. В зависимости от средней величины скорости ветра (от 3 до 12 м/с), в ветровой дефляции участвуют пылевидные фракции с размерами от 1 до 100 мкм [1]. Техногенный подъем пыли происходит при перемещении персонала, животных и техники по территории, а также при проведении различных сельскохозяйственных работ в производственной зоне (вскапывание почвы, выравнивание пашни, посадка сельскохозяйственных культур, прополка, сбор урожая и др.).

В условиях радиоактивного загрязнения почвы производственные работы способствуют поступлению радионуклидов в атмосферную среду. В ветреную погоду, при скорости ветра 3 и более м/с, взвешенные частицы пыли устремляются по направлению ветра (крупные оседают, а мелкие продолжают движение) и оставляют в этом направлении небольшой локальный участок радиоактивного загрязнения почвы. При отсутствии ветра (0 м/с), производственная пыль поднимается в воздушную среду, крупная фракция оседает, мелкая находится во взвешенном состоянии и равномерно, с большей продолжительностью по времени, оседает на поверхность почвы, оставляя ещё больший участок радиоактивного загрязнения почвы. Таким образом, безветренная погода представляет наибольшую опасность загрязнения воздушной среды.

Изучение гранулометрического состава почвенного покрова [1] показало, что на северных территориях СИП в поверхностном 0-3 см слое почвы пре-

обладает крупная фракция размером 1000-500 мкм (50% от общего веса). Вклад фракций 500-250 мкм и 250-100 мкм в общий вес почвы составляет в среднем 11 и 16% соответственно. Около 23% приходится на долю мелкой фракции <100 мкм, эти частицы пыли постоянно находятся в атмосферном воздухе во взвешенном состоянии и могут представлять опасность при попадании в органы дыхания ингаляционным путем.

Цель данной работы заключалась в оценке влияния сельскохозяйственных работ на радионуклидное загрязнение воздушной среды опытно-экспериментального участка «Опытное поле».

Исследование воздушной среды проводилось на следующих объектах:

- территория жилой зоны;
- производственная (огородная) зона;
- зона дыхания в производственной зоне, в местах ведения сельскохозяйственных работ.

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОВЕДЕННЫХ РАБОТ

В период проведения исследовательской работы воздушная среда могла подвергаться загрязнению от следующих возможных источников пыли:

- проведение сельскохозяйственных работ в огородной зоне (вспашка, прополка, уборка урожая и др.);
- перемещение техники, оборудования, животных и персонала на территории опытно-экспериментального участка;
- естественный ветровой подъем пыли.

На территории опытно-экспериментального участка организованы посты мониторинга воздушной среды. Пробоотборники воздуха устанавливались в жилой и производственной зоне.

В качестве фильтра для отбора проб воздуха использовалась синтетическая фильтрующая перхлорвиниловая ткань Петрянова (ФПП-15-1,5) толщиной 0,2 мм. Материал ткани Петрянова – это слой ультратонких волокон со средним размером 1,5 мкм, нанесенных на марлевую подложку.

Для защиты органов дыхания при проведении сельскохозяйственных работ использовался респиратор «Лепесток 200». Респиратор используется для защиты органов дыхания ингаляционным путем от различных аэрозолей, присутствующих в воздухе: растительного, животного происхождения, минеральных веществ. Рекомендуется использовать при работах средней и легкой степени тяжести при температурах не выше +50°C, относительной влажности воздуха до 98%, при концентрации аэрозольной взвеси в воздухе с диаметром частиц до 2 мкм – не более 100 ПДК, с диаметром частиц, превышающих 2 мкм – не более 200 ПДК.

Пробы воздушной среды подготавливались лабораторными методами для проведения гамма-спектрометрического анализа. Для этого проба воздуха помещалась в металлический пресс диаметром 70 мм, поршень пресса затягивался до упора. Пресс с образцом воздуха помещался в низкотемпературную электропечь SNOL 67/350 и выдерживался (при

110 °C) в течение 1 часа. По истечении 1 часа пресс с образцом извлекался из печи и охлаждался до комнатной температуры.

Полученные пробы воздуха исследовались на содержание естественных и техногенных радионуклидов гамма-спектрометрическим методом в соответствии с методикой выполнения измерений на гамма-спектрометре МИ 2143-91 РК. Время измерения каждой пробы составляло не менее 8 ч. В исследуемых пробах воздуха проводилось измерение объемной активности естественных и техногенных радионуклидов, таких как ^{40}K , ^{228}Ac , ^{214}Bi и ^{137}Cs , ^{241}Am . После проведения гамма-спектрометрического анализа все пробы воздуха исследовались радиохимическим методом на содержание $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr .

За период проведенных работ на территории опытно-экспериментального участка «Опытное поле» отобрано 104 пробы воздуха. На рисунке 1 представлена схема расположения пробоотборников воздуха в жилой и производственной зоне.

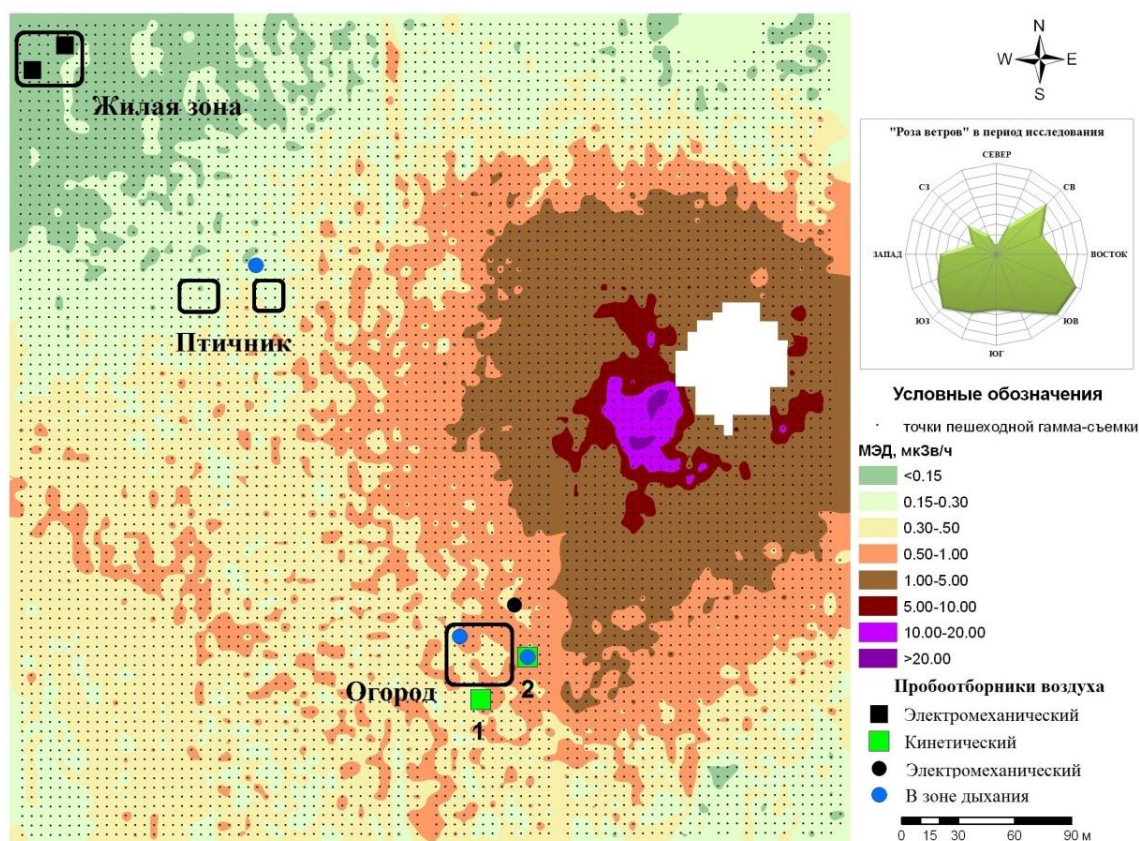


Рисунок 1 – Схема расположения пробоотборников воздуха на территории опытно-экспериментального участка «Опытное поле»

Воздушная среда жилой зоны

Для исследования воздушной среды в жилой зоне использовался стационарный электромеханический пробоотборник воздуха «ЭПРАМ-01». Пробоотборник воздуха устанавливался, в среднем, на высоте не менее 1 м от поверхности почвенного покрова. Непрерывное электропитание пробоотборника осу-

ществлялось дизельной электростанцией. Объем прокачанного воздуха определялся по показаниям расходомера пробоотборника воздуха ($120 \pm 6 \text{ м}^3/\text{час}$), средний объем прокачанного воздуха через фильтр составлял 2400 м^3 . Замена фильтрующего элемента (фильтра) проводилась в следующей последовательности:

- в течение 3 дней замена фильтра осуществлялась 2 раза в сутки, дневная и ночная прокачка воздуха;
- в течение 3 дней замена фильтра осуществлялась 1 раз в сутки, прокачка воздуха за сутки;
- в течение 3 или 5 дней замена фильтра осуществлялась 1 раз за 3 или 5 суток непрерывно.

Такая последовательность отбора проб воздуха в жилой зоне использовалась для оценки и сравнения загрязнения воздушной среды в дневные, ночные, суточные и 3-5 суточные периоды.

Для изучения климатических особенностей в жилой зоне использовалась метеорологическая станция «Davis». На протяжении всего периода проводимых работ на электронном носителе фиксировались основные метеорологические параметры: направление и скорость ветра, температура и влажность атмосферного воздуха.

Воздушная среда в производственной (огородной) зоне

Для исследования воздушной среды в производственной зоне использовался переносной электромеханический «ПАП-1К» и кинетический пробоотборник воздуха, которые устанавливались за пределами границы участка огородной зоны (рисунок 1). На электромеханическом пробоотборнике «ПАП-1К» фильтрующий элемент располагался в среднем на высоте не менее 1 м от подстилающей поверхности. Отбор проб атмосферного воздуха осуществлялся в период проведения сельскохозяйственных работ, средний объем прокачанного воздуха составлял 300 м³. Кинетический пробоотборник воздуха прокачивал воздух, используя энергию ветра, объем прокачанного воздуха определялся встроенным счетным устройством. Средний объем прокачанного воздуха через фильтр составлял 500 м³.

Установка пробоотборников воздуха осуществлялась по направлению ветра таким образом, чтобы при проведении сельскохозяйственных работ поднятая в воздушную среду пылевидная фракция осаждалась на фильтрующем элементе пробоотборника. Замена фильтрующего элемента производилась после окончания цикла агротехнических мероприятий (вскапывание и боронование почвы, перекопка, выравнивание пашни, посадка сельскохозяйственных культур, прополка и сбор урожая).

Воздушная среда в зоне дыхания

При проведении агротехнических мероприятий в производственной зоне исследования воздушной среды в зоне дыхания осуществлялись с помощью респираторов, используемых в работе персоналом. Объем вдыхаемого воздуха составлял 0,92 м³/ч из расчета, что годовой объем потребляемого воздуха человеком, для старшей возрастной группы, составляет 8100 м³/год за 8800 часов в год. У персонала, проводящего работы на загрязненных участках, учитывалось время использования респиратора (респиратор «Лепесток»). В случае если цикл проводимых сельскохозяйственных работ не был окончен, респиратор использовался вновь, при этом время использования респиратора суммировалось. Использованный респиратор упаковывался по окончании смены или цикла работ и оформлялся как проба воздуха.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Воздушная среда жилой зоны

Результаты гамма-спектрометрических и радиохимических измерений проб воздуха, отобранных в жилой зоне, представлены в таблице 1. Для удобства представления полученных данных объемная активность естественных радионуклидов представлена в Бк/м³, а техногенных радионуклидов – мкБк/м³.

Содержание естественных и техногенных гамма-излучающих радионуклидов в воздушной среде жилой зоны находилось ниже уровня предела обнаружения. Концентрация ⁹⁰Sr также находилась ниже уровня обнаружения, лишь в 2 случаях получены численные значения концентрации ⁹⁰Sr, которые составляли 20 мкБк/м³. Концентрация ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в воздушной среде, в ряде случаев, достигала 54 мкБк/м³, что на 2 порядка ниже ДОО для категории население и на 3 порядка ниже ДОО для категории персонал (СТОРБ) [2].

В таблице 2 представлены средние значения концентрации техногенных радионуклидов в среднесуточной, средненочной и среднесуточный период.

Как видно из результатов (таблица 2), средняя концентрация ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в среднесуточной и среднесуточный период находится на одном уровне – 22-24 мкБк/м³, при этом в период отбора средняя скорость ветра составляла 2,2-2,5 м/с. В средненочной период содержание ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в 2 раза меньше, чем в среднесуточный период.

Таблица 1 – Результаты гамма-спектрометрических и радиохимических измерений проб воздуха, отобранных в жилой зоне пробоотборником «ЭПРАМ-01-СОЛО»

Период прокачки воздуха		Объем прокачки воздуха, м ³	Естественные радионуклиды, Бк/м ³			Техногенные радионуклиды, мкБк/м ³			
			⁴⁰ K	²²⁸ Ac	²¹⁴ Bi	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	²⁴¹ Am	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
1 сутки	27-28.07.11	2830±140	<1·10 ⁻²	<3·10 ⁻⁴	<1·10 ⁻⁴	<50	<30	<30	10±6
3 суток	03-05.07.11	4140±35	<8·10 ⁻³	<1·10 ⁻⁴	<1·10 ⁻⁴	<40	<20	<20	20±7
6 суток	05-11.07.11	10810±540	<4·10 ⁻³	<1·10 ⁻⁴	<7·10 ⁻⁵	<9	<9	<6	24±8
день	05.08.11	1360±70	<3·10 ⁻²	<4·10 ⁻⁴	<4·10 ⁻⁴	<80	<10	<40	30±10
день	06.08.11	1260±63	<3·10 ⁻²	<7·10 ⁻⁴	<5·10 ⁻⁴	<20		<20	
день	07.08.11	1300±65	<3·10 ⁻²	<4·10 ⁻⁴	<2·10 ⁻⁴	<90		<50	
день	12.08.11	1500±75	<3·10 ⁻²	<6·10 ⁻⁴	<3·10 ⁻⁴	<70		<30	
ночь	05.08.11	1460±73	<2·10 ⁻²	<3·10 ⁻⁴	<1·10 ⁻⁴	<80	<10	<40	

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА НА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ**

Период прокачки воздуха		Объем прокачки воздуха, м ³	Естественные радионуклиды, Бк/м ³			Техногенные радионуклиды, мкБк/м ³			
			⁴⁰ K	²²⁸ Ac	²¹⁴ Bi	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	²⁴¹ Am	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
ночь	07.08.11	1330±67	<3·10 ⁻²	<7·10 ⁻⁴	<2·10 ⁻⁴	<90		<50	
ночь	08.08.11	1420±70	<2·10 ⁻²	<4·10 ⁻⁴	<2·10 ⁻⁴	<70		<50	
ночь	13.08.11	1510±76	<3·10 ⁻²	<6·10 ⁻⁴	<8·10 ⁻⁴	<30		<10	
1 сутки	09.08.11	2560±130	<1·10 ⁻²	<3·10 ⁻⁴	<8·10 ⁻⁵	<40		<20	
1 сутки	10.08.11	2820±140	<1·10 ⁻²	<3·10 ⁻⁴	<1·10 ⁻⁴	<50	<30	<30	10±5
1 сутки	11.08.11	2710±136	<1·10 ⁻²	<5·10 ⁻⁴	<1·10 ⁻⁴	<50		<30	
1 сутки	18.08.11	2900±145	<1·10 ⁻²	<3·10 ⁻⁴	<2·10 ⁻⁴	<40		<30	
1 сутки	19.08.11	2920±146	<1·10 ⁻²	<3·10 ⁻⁴	<2·10 ⁻⁴	<30	<10	<20	40±10
1 сутки	20.08.11	2970±150	<1·10 ⁻²	<2·10 ⁻⁴	<1·10 ⁻⁴	<30		<20	
5 суток	20-24.08.11	8700±430	<4·10 ⁻³	<1·10 ⁻⁴	<2·10 ⁻⁵	<10	<10	<10	<9
4 суток	25-28.08.11	7520±380	<5·10 ⁻³	<1·10 ⁻⁴	<4·10 ⁻⁵	<20	<10	<10	<6
5 суток	02.09.11	7990±400	<4·10 ⁻³	<6·10 ⁻⁵	<1·10 ⁻⁴	<10	<10	<9	<7
день	02.09.11	1390±70	<2·10 ⁻²	<4·10 ⁻⁴	<4·10 ⁻⁴	<80		<40	
день	03.09.11	1270±64	<3·10 ⁻²	<6·10 ⁻⁴	<2·10 ⁻⁴	<90	20±10	<60	20±5
день	04.09.11	1500±75	<3·10 ⁻²	<9·10 ⁻⁴	<7·10 ⁻⁴	<70		<40	
ночь	03.09.11	1280±64	<2·10 ⁻²	<7·10 ⁻⁴	<3·10 ⁻⁴	<90		<60	
ночь	04.09.11	1270±64	<3·10 ⁻²	<6·10 ⁻⁴	<5·10 ⁻⁴	<90	<20	<70	10±5
ночь	05.09.11	1560±80	<2·10 ⁻²	<5·10 ⁻⁴	<1·10 ⁻³	<80		<40	
1 сутки	06-07.09.11	2770±140	<1·10 ⁻²	<2·10 ⁻⁴	<3·10 ⁻⁴	<40		<20	
1 сутки	08-09.11	2400±120	<2·10 ⁻²	<2·10 ⁻⁴	<6·10 ⁻⁴	<40	<10	<30	54±12
1 сутки	11-12.09.11	2220±110	<2·10 ⁻²	<4·10 ⁻⁴	<7·10 ⁻⁴	<20		<50	
1 сутки	13-14.09.11	2730±137	<1·10 ⁻²	<1·10 ⁻⁴	<7·10 ⁻⁴	<40		<20	
1 сутки	14-15.09.11	2800±140	<1·10 ⁻²	<5·10 ⁻⁴	<6·10 ⁻⁴	<40	<10	<30	15±5
1 сутки	15-16.09.11	2880±144	<1·10 ⁻²	<2·10 ⁻⁴	<6·10 ⁻⁴	<40		<30	
день	16.09.11	1200±60	<3·10 ⁻²	<5·10 ⁻⁴	<8·10 ⁻⁴	<90		<60	
день	17.09.11	740±37	<5·10 ⁻²	<8·10 ⁻⁴	<1·10 ⁻³	<200	<20	<90	
день	18.09.11	760±38	<5·10 ⁻²	<1·10 ⁻³	<2·10 ⁻³	<200		<80	
день	19.09.11	1230±60	<3·10 ⁻²	<5·10 ⁻⁴	<1·10 ⁻³	<60		<40	
ночь	17.09.11	736±37	<5·10 ⁻²	<8·10 ⁻⁴	<1·10 ⁻³	<100		<90	
ночь	18.09.11	715±36	<5·10 ⁻²	<2·10 ⁻³	<1·10 ⁻³	<200	<20	<90	10±4
ночь	19.09.11	1090±55	<3·10 ⁻²	<7·10 ⁻⁴	<1·10 ⁻³	<90		<60	
ночь	20.09.11	1640±80	<3·10 ⁻²	<6·10 ⁻⁴	<1·10 ⁻³	<20		<10	
3 суток	22-24.09.11	4700±235	<9·10 ⁻³	<1·10 ⁻⁴	<3·10 ⁻⁴	<30	<30	<20	<10
5 суток	01.10.11	7160±360	<5·10 ⁻³	<1·10 ⁻⁴	<3·10 ⁻⁴	<20	<10	<20	<4
1 сутки	21-22.09.11	2900±145	<2·10 ⁻²	<4·10 ⁻⁴	<8·10 ⁻⁴	<30		<40	
1 сутки	01-02.10.11	2310±120	<2·10 ⁻²	<4·10 ⁻⁴	<6·10 ⁻⁴	<50	<10	<20	30±5
1 сутки	02-03.10.11	2720±136	<1·10 ⁻²	<3·10 ⁻⁴	<6·10 ⁻⁴	<40		<30	
1 сутки	03-04.10.11	2610±130	<1·10 ⁻²	<3·10 ⁻⁴	<5·10 ⁻⁴	<60		<20	
день	04.10.11	800±40	<5·10 ⁻²	<9·10 ⁻⁴	<2·10 ⁻³	<90		<70	
день	05.10.11	1330±67	<2·10 ⁻²	<9·10 ⁻⁴	<1·10 ⁻³	<80	<20	<50	
день	06.10.11	1320±66	<3·10 ⁻²	<6·10 ⁻⁴	<1·10 ⁻³	<90		<60	
ночь	05.10.11	1040±52	<3·10 ⁻²	<1·10 ⁻³	<2·10 ⁻³	<90		<60	
ночь	06.10.11	1400±70	<3·10 ⁻²	<6·10 ⁻⁴	<1·10 ⁻³	<90	<20	<50	
ночь	07.10.11	1355±68	<3·10 ⁻²	<6·10 ⁻⁴	<1·10 ⁻³	<30		<20	
1 сутки	07-08.10.11	2990±150	<1·10 ⁻²	<2·10 ⁻⁴	<7·10 ⁻⁴	<50		<20	
1 сутки	08-09.10.11	1815±90	<2·10 ⁻²	<3·10 ⁻⁴	<9·10 ⁻⁴	<70	<1	<40	10±4
1 сутки	09-10.10.11	2970±150	<1·10 ⁻²	<2·10 ⁻⁴	<5·10 ⁻⁴	<40		<20	
день	11.10.11	1064±53	<3·10 ⁻²	<6·10 ⁻⁴	<1·10 ⁻³	<90		<60	
день	12.10.11	1310±66	<3·10 ⁻²	<5·10 ⁻⁴	<1·10 ⁻³	<80	<20	<40	15±6
день	13.10.11	1230±62	<3·10 ⁻²	<6·10 ⁻⁴	<1·10 ⁻³	<90		<60	
ночь	12.10.11	1400±70	<2·10 ⁻²	<6·10 ⁻⁴	<5·10 ⁻⁴	<90	20±10	<40	10±4
ночь	13.10.11	1350±68	<2·10 ⁻²	<7·10 ⁻⁴	<9·10 ⁻⁴	<90		<60	
1 сутки	14-15.10.11	2770±140	<1·10 ⁻²	<2·10 ⁻⁴	<3·10 ⁻⁴	<40		<30	
1 сутки	15-16.10.11	2600±130	<1·10 ⁻²	<5·10 ⁻⁴	<3·10 ⁻⁴	<40	<10	<40	
1 сутки	16-17.10.11	2650±133	<1·10 ⁻²	<3·10 ⁻⁴	<4·10 ⁻⁴	<10		<10	
ДОА для персонала в год			3,8·10 ³	3,2·10 ²	1,1·10 ³	1,7·10 ⁹	3,3·10 ⁸	2,1·10 ⁵	32000
ДОА для населения в год			не нормируются			2,7·10 ⁷	2,7·10 ⁶	2,9·10 ³	2500

Таблица 2 – Средние концентрации техногенных радионуклидов и значения метеопараметров воздушной среды в различные периоды отбора проб воздуха

Период отбора	Объемная активность радионуклидов, мкБк/м ³				Относительная влажность, %	Скорость ветра, м/с
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	²⁴¹ Am	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu		
Среднедневной	<92	20±14	<51	22±7	48	2,5
Средненочной	<83	22±19	<50	10±4	60	1,8
Среднесуточный	<36	<14	<29	24±8	57	2,2

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА НА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ**

Воздушная среда производственной (огородной) зоны

Результаты гамма-спектрометрических и радиохимических измерений проб воздуха, отобранных в производственной зоне переносным электромеханическим и кинетическим пробоотборниками воздуха, представлены в таблицах 3 и 4.

Во всех пробах воздуха, отобранных в производственной зоне, содержание естественных и техногенных гамма-излучающих радионуклидов ^{40}K , ^{228}Ac , ^{214}Bi и ^{137}Cs , ^{241}Am не обнаружено. Средняя концентрация ^{90}Sr в пробах воздуха не превышала предел обнаружения, в единственном случае получено численное значение концентрации ^{90}Sr , составляющее 200 мБк/м³.

Максимальные концентрации $^{239+240}\text{Pu}$ получены в период проведения сельскохозяйственных работ, связанных с техногенным воздействием на почвенный покров (таблица 3), таких как вспашка почвы, боронование, выравнивание и посадка грядок. В период боронования почвы объемная активность радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ составляла 30000 мБк/м³, что достигает уровень допустимой объемной активности (ДОО) для персонала (32000 мБк/м³) и значительно превышает уровень ДОО для населения (2500 мБк/м³).

В период ежедневного ухода за сельскохозяйственными растениями (полив, уборка сорняков, снятие урожая) средняя концентрация $^{239+240}\text{Pu}$ составляла 240 мБк/м³.

Воздушная среда в зоне дыхания

Результаты гамма-спектрометрических и радиохимических измерений респираторов в зоне дыхания представлены в таблице 5. Для удобства представления полученных данных объемная активность естественных радионуклидов представлена в Бк/м³, а техногенных радионуклидов – мБк/м³.

В период ухода за сельскохозяйственными растениями (таблица 4) средняя концентрация радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ в зоне дыхания персонала составляла 20 мБк/м³. При поливе и уборке урожая отмечены максимальные концентрации $^{239+240}\text{Pu}$, которые достигали 50 мБк/м³, что значительно превышает ДОО для категории население (2,5 мБк/м³) и персонал (32 мБк/м³). Таким образом, при проведении сельскохозяйственных работ на территории, загрязненной трансураниевыми радионуклидами, персоналу и населению крайне необходимо использовать средства защиты органов дыхания.

Таблица 3 – Результаты гамма-спектрометрических и радиохимических измерений проб воздуха, отобранных в производственной зоне электромеханическим пробоотборником

Виды работ	Период прокачки	Объем прокачки воздуха, м ³	Естественные радионуклиды, Бк/м ³			Техногенные радионуклиды, мБк/м ³			
			^{40}K	^{228}Ac	^{214}Bi	^{137}Cs	^{90}Sr	^{241}Am	$^{239+240}\text{Pu}$
Все виды с/х работ на огороде закончены	21.10.2010	1130	<4·10 ⁻²	<6·10 ⁻⁴	<2·10 ⁻³	<10	<80	<50	<33
Посадка саженцев	17-18.05.11	210	<2·10 ⁻¹	<2·10 ⁻³	<2·10 ⁻³	<900	<300	<300	
Вспашка почвы	24.05.11	88	<4·10 ⁻¹	<7·10 ⁻³	<2·10 ⁻³	<1000	<1000	<700	1300±50
Выравнивание пашни	27.05.11	75	<5·10 ⁻¹	<8·10 ⁻³	<3·10 ⁻³	<2000	<1000	<900	
Перекопка, посадка с/х культур	28-29.05.11	200	<2·10 ⁻¹	<3·10 ⁻³	<2·10 ⁻³	<600	<400	<300	7400±900
	03-08.06.11	240	<2·10 ⁻¹	<3·10 ⁻³	<2·10 ⁻³	<500	<300	<300	1000±200
Боронование пашни	07.06.11	21	<2	<3·10 ⁻²	<4·10 ⁻²	<7000	<500	<3000	16000±6000
	09.06.11	21	<1	<2·10 ⁻²	<3·10 ⁻²	<6000	<400	<5000	30000±1000
Посадка с/х культур	06-12.07.11	680	<5·10 ⁻²	<6·10 ⁻⁴	<1·10 ⁻³	<200	<100	<100	2600±300
Посадка с/х культур и полив	13-20.07.11	10660	<3·10 ⁻³	<7·10 ⁻⁵	<6·10 ⁻⁵	<10	<7	<10	10±4
-	21-26.07.11	7750	<5·10 ⁻³	<1·10 ⁻⁴	<8·10 ⁻⁵	<20	<800	<10	13±4
ДОО для персонала в год			3,8·10 ³	3,2·10 ²	1,1·10 ³	1,7·10 ⁹	3,3·10 ⁸	2,1·10 ⁵	32000
ДОО для населения в год			не нормируется			2,7·10 ⁷	2,7·10 ⁶	2,9·10 ³	2500

Таблица 4 – Результаты гамма-спектрометрических и радиохимических измерений проб воздуха, отобранных в производственной зоне кинетическим пробоотборником

Виды работ	Период прокачки воздуха		Объем прокачки воздуха, м ³	Техногенные радионуклиды, мБк/м ³			
				^{137}Cs	^{90}Sr	^{241}Am	$^{239+240}\text{Pu}$
Полив	4 дня (*)	06-10.08.11	81	<800	<900	<200	460±40
	4 дня (**)	06-10.08.11	490	<100	<200	<60	420±80
Полив, отбор растений и почвы	7 дней (*)	11-18.08.11	197	<600	<100	<300	130±50
	7 дней (**)	11-18.08.11	880	<100	200±100	<70	500±80
Полив, отбор растений и почвы	11 дней (*)	18-29.08.11	566	<200	<200	<90	80±26
	11 дней (**)	18-29.08.11	895	<100	<100	<60	<50
Отбор растений и почвы	7 дней (*)	30.08-05.09.11	348	<300	<200	<200	100±50
	7 дней (**)	30.08-05.09.11	538	<200	<100	<200	150±40
ДОО для персонала в год				1,7·10 ⁹	3,3·10 ⁸	2,1·10 ⁵	32000
ДОО для населения в год				2,7·10 ⁷	2,7·10 ⁶	2,9·10 ³	2500

Примечание: (*) – кинетический пробоотборник № 1, (**) – кинетический пробоотборник № 2

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА НА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ» ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ

Таблица 5 – Результаты гамма-спектрометрических измерений образцов воздуха в зоне дыхания

Период проведения работ	Объем вдыхаемого воздуха, м ³	Естественные радионуклиды, Бк/м ³			Техногенные радионуклиды, мБк/м ³			
		⁴⁰ K	²²⁸ Ac	²¹⁴ Bi	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	²⁴¹ Am	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
02-10.08.11	41,4	<1	<2·10 ⁻²	<7·10 ⁻³	<3	<0,4	<3	6±1
		<1	<2·10 ⁻²	<1·10 ⁻²	<4		<2	
01-10.08.11	32,4	<1	<2·10 ⁻²	<2·10 ⁻²	<4	<0,9	<2	6±1
	41,4	<1	<2·10 ⁻²	<7·10 ⁻³	<3		<2	
01-10.08.11	27,7	<1	<2·10 ⁻²	<1·10 ⁻²	<4	<1	<3	5±1
		<1	<4·10 ⁻²	<3·10 ⁻²	<4		<1	
		<1	<4·10 ⁻²	<4·10 ⁻²	<4		<1	
10-13.08.11	6,5	<5	<1·10 ⁻¹	<8·10 ⁻²	<30	<6	<9	50±5
11-12.08.11		<5	<9·10 ⁻²	<5·10 ⁻²	<20		<10	
11-14.08.11	30,5	<3	<6·10 ⁻²	<9·10 ⁻²	<10	<3	<2	12±2
12-15.08.11	9,2	<4	<7·10 ⁻²	<4·10 ⁻²	<20	6±2	<9	23±3
14-15.08.11	11	<3	<6·10 ⁻²	<4·10 ⁻²	<10		<7	
15-16.08.11	9,2	<4	<1·10 ⁻¹	<5·10 ⁻²	<10		<8	
16-17.08.11	14,8	<3	<8·10 ⁻²	<4·10 ⁻²	<10	<3	<4	21±3
14-19.08.11	18,5	<1	<5·10 ⁻²	<2·10 ⁻²	<10	5±2	<7	24±4
19-23.08.11		<2	<4·10 ⁻²	<2·10 ⁻²	<8		<4	
23-27.08.11	14,7	<2	<5·10 ⁻²	<1·10 ⁻¹	<20	<3	<5	21±3
28-29.08.11	12,9	<3	<7·10 ⁻²	<1·10 ⁻¹	<10	<4	<4	12±2
30.08-01.09.11	22	<1	<3·10 ⁻²	<5·10 ⁻²	<6	<2	<3	32±3
27.08-02.09.11		<2	<6·10 ⁻²	<4·10 ⁻²	<6		<3	
02-06.09.11	14,7	<3	<6·10 ⁻²	<8·10 ⁻²	<8	<4	<4	12±2
05-07.09.11	12	<3	<5·10 ⁻²	<9·10 ⁻²	<10		<6	
ДОА для персонала в год		3,8·10 ³	3,2·10 ²	1,1·10 ³	1,7·10 ⁶	3,3·10 ⁵	210	32
ДОА для населения в год		не нормируется			2,7·10 ⁴	2,7·10 ³	2,9	2,5

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В воздушной среде жилой и производственной зоны не обнаружено численных значений концентрации естественных и техногенных гамма-излучающих радионуклидов. Даже при больших объемах прокачки воздуха (от 8000 м³ и более) через фильтрующий элемент концентрация гамма-излучающих радионуклидов не превышала предел обнаружения.

Средняя концентрация радионуклида ⁹⁰Sr не превышала минимальный предел обнаружения. В период полива сельскохозяйственных растений в зоне дыхания персонала объемная активность ²³⁹⁺²⁴⁰Pu достигала 6·мБк/м³, что не превышает ДОА для населения (2700 мБк/м³), установленную гигиеническими нормативами (СТОРБ) [2].

Во всех пробах воздуха, отобранных в жилой и производственной зоне, имеются численные концентрации ²³⁹⁺²⁴⁰Pu. В жилой зоне среднесуточная и среднесуточная концентрация ²³⁹⁺²⁴⁰Pu составляла 22-24 мБк/м³, средненочная – 10 мБк/м³. В производственной зоне максимальные концентрации ²³⁹⁺²⁴⁰Pu были получены в результате проведения сельскохозяйственных работ. При этом в период техногенного воздействия на почвенный покров (боронование почвы) содержание ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в воздушной среде достигали значений 30000 мБк/м³, что значительно превышает ДОА для категории населения (2500 мБк/м³). В период ухода за сельскохозяйственными растениями средняя концентрация ²³⁹⁺²⁴⁰Pu составляла 240 мБк/м³. В зоне дыхания также получены повышенные концентрации ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, которые составили от 5000 до 32000 мБк/м³.

Результаты показали, что сельскохозяйственные работы, проводимые на загрязненной территории, способствуют поступлению радионуклида ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в воздушную среду. Необходимо отметить, что пробоотборники воздуха устанавливались за пределами исследовательского участка, поэтому максимальные концентрации ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в воздушной среде были отмечены только в период техногенного воздействия на почвенный покров (боронование почвы).

Исследование воздушной среды в зоне дыхания проводилось непосредственно на территории огородной зоны, вероятно, поэтому во всех измеренных респираторах получены максимальные концентрации радионуклида ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, превышающие ДОА для населения. Таким образом, при проведении сельскохозяйственных работ на территории, загрязненной трансураниевыми радионуклидами, для ограничения поступления радионуклидов ингаляционным путем крайне необходимо использовать средства защиты органов дыхания.

Выводы

В воздушной среде опытно-экспериментального участка площадки «Опытное поле» в жилой, производственной зоне и зоне дыхания не обнаружено естественных и техногенных гамма-излучающих радионуклидов. Содержание ⁹⁰Sr в воздушной среде находилось на уровне предела обнаружения.

В жилой и производственной зоне получены численные значения концентрации радионуклида ²³⁹⁺²⁴⁰Pu. В жилой зоне содержание ²³⁹⁺²⁴⁰Pu не превышало 54 мБк/м³. В производственной зоне и зоне дыхания максимальная концентрация ²³⁹⁺²⁴⁰Pu достигала 32000 мБк/м³, что превышает ДОА для кате-

гории населения, установленную гигиеническими нормативами (СТОРБ) [2]. Полученные результаты показали, что любой вид сельскохозяйственной деятельности способствует поступлению радионукли-

дов в воздушную среду, при этом максимальные концентрации радионуклидов отмечены в период техногенного воздействия на почвенный покров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Радиоэкологическое состояние «северной» части территории Семипалатинского испытательного полигона] / под рук. Лукашенко С.Н. – Вып. 1. – Павлодар: Дом печати, 2010. – 234с.: ил.- Библиогр.: С.67. - ISBN 978-601-7112-28-8.
2. Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности», утв. Постановлением Правительства РК № 201 от 03.02.2012. – Приложение 4.

АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ ЖҰМЫСТАРЫН ЖҮРГІЗУ БАРЫСЫНДА «ТӘЖІРІБЕ ДАЛАСЫ» СЫНАҚ АЛАҢЫНДАҒЫ АУА БАСЕЙНІНІҢ ЛАСТАНУ КҮЙІН БАҒАЛАУ

Турченко Д.В., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О., Паницкий А.В.

ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан

«Тәжірибе даласы» алаңының радиоактивті ластанған аумағында ауылшаруашылығын жүргізу барысында ауа ортасының ластануына бағалау жасалды. Тұрғын-жай, ауылшаруашылығы аймағы мен тынысалу аймағының ауа ортасындағы техногенді және табиғи радионуклидтердің құрамы жайлы мөлшерлік деректері алынды. Табиғи және техногенді гамма-сәуле шығарушы ^{40}K , ^{228}Ac , ^{214}Bi және ^{137}Cs , ^{241}Am радионуклидтердің құрамы, сонымен қатар ауа ортасындағы ^{90}Sr анықтау шегінен асқан жоқ. Топырақ жамылғысына әсер етуімен (топырақты қопару, жырту) байланысты ауылшаруашылық жұмыстарын өткізу барысындағы $^{239+240}\text{Pu}$ радионуклидінің шоғырлануы ауа ортасында $30\,000\text{ мкБк/м}^3$ жетуі мүмкін. Тыныс алу аймағынан да $^{239+240}\text{Pu}$ мәні жоғары түрде шоғырланғаны анықталды, бұл тұрғындар санаты үшін рауалы көлемдік белсенділік (РКБ) мөлшерінен жоғары.

ESTIMATION OF THE SEPTIC CONDITION OF THE AIR BASIN ON THE “TEST FIELD” TEST SITE WHEN CARRYING OUT AGRICULTURAL WORKS

D.V. Turchenko, S.N. Lukashenko, A.O. Aidarkhanov, A.V. Panitskiy

RK NNC Institute of radiation safety and ecology, Kurchatov Kazakhstan

Estimation of contamination of the air environment by carrying out agricultural works at the contaminated territory of “Test field” test site is adduced. Quantitative data on concentration of technogenic and natural radionuclides in the air environment of inhabited and agricultural area and the breathing zone was obtained. Concentration of natural and technogenic gamma-emitting ^{40}K , ^{228}Ac , ^{214}Bi and ^{137}Cs , ^{241}Am as well as ^{90}Sr radionuclides in the air environment did not exceed the detection limit. When carrying out agricultural works, related to influence on the soil cover (digging and harrowing the soil), concentration of radionuclide $^{239+240}\text{Pu}$ can be up to $30\,000\text{ мкБк/м}^3$. Also in the breathing zone enhanced concentrations $^{239+240}\text{Pu}$, exceeding admissible volume activity (AVA) for the population category have been achieved.

УДК 621.039.9:551.49:504.53:546.11.02.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРИТИЯ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ КАК ИНДИКАТОРА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

Турченко Д.В., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О., Ляхова О.Н.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В статье представлены результаты исследования содержания трития в местах проведения подземных ядерных взрывов. На боевой скважине 1355 площадки «Балапан» получены сравнительные концентрации трития в снежном покрове в начале зимы и весной, по результатам которых сделан вывод о поступлении трития в снег из почвенного покрова. В марте отмечены максимальные концентрации трития в приземном слое снежного покрова, достигающие 75–100 Бк/кг. Над эпицентрами штолен площадки «Дегелен» содержание трития в снежном покрове не превышало предел обнаружения – 12–13 Бк/кг, лишь в единственном случае на штольне 107 концентрация трития в снеге достигала 350 Бк/кг.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ОДВЗЯИ), который с 1996 года запрещает все ядерные взрывы на Земле, контроль за проведением ядерных испытаний осуществляется международными сейсмическими и радионуклидными мониторинговыми станциями. Чувствительность станций мониторинга позволяет регистрировать ядерные испытания на локальном и региональном уровне [1].

Как показали практические наблюдения, при проведении подземных ядерных взрывов (ПЯВ) полного камуфлета над эпицентром взрыва не наблюдается провалных явлений почвы и радиоактивного выброса из котловой полости ПЯВ. Эти взрывы представляют особый интерес, поскольку факт проведения ядерного взрыва может быть тщательно замаскирован. В этой связи необходимо иметь ряд технических методов и мероприятий, способных с максимальной достоверностью определить место проведения ПЯВ.

В настоящее время существует множество апробированных методов регистрации ядерных испытаний. Для каждого типа взрыва (подземный, атмосферный, подводный и космический) используются основные и дополнительные методы регистрации. К основным методам регистрации подземных ядерных взрывов относятся сейсмический, радионуклидный и оптический (спутниковый) метод, для получения более детальной информации о ПЯВ используются дополнительные методы (инфразвуковой, электромагнитный, магнитометрический) [2].

Сейсмические методы позволяют регистрировать сейсмические события, оценивать их интенсивность, локализовывать и идентифицировать природу этих событий. Оптический метод используется для получения снимков поверхности Земли из космоса, на которых видно проседание приповерхностного слоя почвы.

Радионуклидный метод является ключевым методом в распознавании и идентификации ядерных испытаний, поскольку с его помощью выявляется

наличие проведения ядерного или химического взрыва. Станции радионуклидного мониторинга используются для обнаружения короткоживущих благородных газов изотопов ксенона и криптона, возникающих в процессе деления ядерного топлива. В случае если имеются сомнения в идентификации ПЯВ на региональном уровне, в рабочем порядке создается международная экспертная группа, которая проводит инспекцию в месте предполагаемого проведения ПЯВ. В Протоколе к Договору ОДВЗЯИ оговорены и приняты методы инспекционной деятельности [3]:

- визуальное наблюдение;
- измерение уровней радиоактивности (гамма-спектрометрия и радиометрия, отбор и анализ твердых, жидких и газообразных экологических проб);
- геофизические технологии (активная, пассивная и резонансная сейсмометрия, магнитометрия, гравиметрия, электрометрия и грунтопроникающие радарные измерения).

На основании полученного анализа массива данных подготавливается экспертное заключение об имитации или проведении ПЯВ. Однако, в некоторых случаях (взрыв полного камуфлета), этих методов недостаточно для полной идентификации ПЯВ, поэтому в дальнейшем необходимо продолжать разрабатывать и модифицировать комплекс методов обнаружения ядерных испытаний.

При проведении ядерных испытаний в котловой полости ядерного взрыва нарабатывается значительное количество трития, что можно использовать для идентификации мест ПЯВ. Семипалатинский полигон представляет собой уникальную возможность в разработке методов обнаружения ПЯВ, поскольку на его территории проведено множество различных типов ядерных испытаний. В горных выработках (штольнях) площадки «Дегелен», внутри штольни и на припортальном участке обнаружены повышенные концентрации трития в воздушной среде. На приустьевом участке боевых скважин площадки «Балапан» также обнаружено поступление трития в

воздушную среду [4]. На ручьях площадки «Дегелен» снежный покров накапливает тритий [5] и может достигать концентрации 15000 Бк/кг. Выявлено, что основным механизмом поступления трития в снежный покров является эманация трития из подстилающей поверхности почвы. Наличие высоких концентраций трития в компонентах экосистемы (водных объектах, животных, растениях, атмосферном воздухе и снежном покрове) свидетельствует его поступлении из котловых полостей ПЯВ.

Ранее было предложено [4] идентифицировать места проведения ядерных взрывов по содержанию трития в воздушной среде. Следует отметить, что из-за неустойчивости состояния воздушной среды (изменение погодных условий) сложно получить достоверный результат, при этом весь комплекс исследовательских работ может быть достаточно затратным мероприятием. В этой связи предлагается использовать тритий в снежном покрове как индикатор проведения ядерного испытания.

В данной работе предпринята попытка разработки метода обнаружения подземных ядерных взрывов (ПЯВ) по содержанию трития в снежном покрове.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования были выбраны приустьевые участки над эпицентрами ПЯВ, расположенные на площадках «Дегелен» и «Балапан». Данная исследовательская работа включала следующие этапы:

- исследование динамики содержания трития в снеге на приустьевом участке скважины 1355 площадки «Балапан»;
- оценка накопления трития в снежном покрове над эпицентрами ПЯВ штолен площадки «Дегелен».

Выбор объектов исследования проводился с использованием результатов работ по изучению содержания трития в воздушной среде в местах проведения подземных ядерных взрывов [4].

Приустьевой участок боевой скважины 1355 на площадке «Балапан» представляет собой скважину с вертикальной выработкой на глубину 530 м. После

проведения установки заряда производилась забойка скважины на всю глубину. Конструкция забивочного комплекса представляла собой сочетание силовых и технологических элементов: цементных пробок и участков щебеночной засыпки [5]. По архивным источникам дата проведения испытания была 13.12.1987 г, мощность ядерного взрыва неполного камуфлета (ВНК) составила 137 кТ (0,001-20 кТ) [6].

Непосредственно над местом проведения ПЯВ выполнялось исследование динамики содержания трития в снежном покрове. Отбор проб снега проводился на участке 1×1 км, по координатной сетке с шагом 100 м. Центр координатной сетки располагался у оголовка боевой скважины. Отбор проб снега проводился послойно (поверхностный и приземный слой), 1 отбор снега проводился после первого снегоотложения в начале зимы, 2 отбор снежного покрова – весной.

На площадке «Дегелен» подземные испытания проводились в горизонтальных горных выработках – штольнях. Ядерный заряд размещался в конце штольни в специально оборудованном боксе. Для предотвращения выхода продуктов деления на дневную поверхность в штольне сооружался специальный забивочный комплекс, представляющий собой сочетание цементных пробок и щебеночной засыпки. При ликвидации инфраструктуры полигона все штольни были закрыты путем искусственного обрушения горной пород для предотвращения свободного доступа в штольню [4]. На рисунке 1 представлена штольня в горизонтальном разрезе.

Для оценки накопления трития в снежном покрове, над эпицентрами ПЯВ штолен 511, 138, 501, 136, 505 и 107 площадки «Дегелен», в марте был проведен отбор проб снега из расчета максимального накопления трития в снежном покрове. Место отбора проб снега над эпицентром ПЯВ определялось от портала штольни по известному направлению до концевой полости ПЯВ (400-500 м) или в зоне максимального раздробления горной породы над штреком штольни (рисунок 1). Основные характеристики ядерных взрывов приведены в таблице 1 [7].

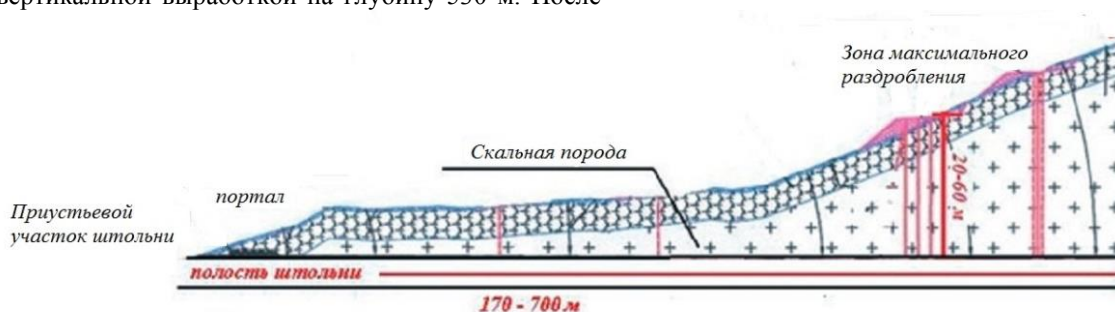


Рисунок 1 – Штольня на площадке «Дегелен» в горизонтальном разрезе [1]

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРИТИЯ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ КАК ИНДИКАТОРА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

Таблица 1 – Список исследуемых штолен и характеристика проведенных ядерных испытаний

№ п/п	№ штольни	Дата проведения испытания	Цель испытания	Мощность, кТ	Вид взрыва ¹⁾	Количество проведенных испытаний
1	511	27.11.69	создание ЯО	20	ВПК	1
2	138	06.06.87	создание ЯО	24	ВПК	1
3	501	30.10.67	создание ЯО	25	ВПК	1
4	136	29.10.77	создание ЯО; фундаментальные исследования	42	ВПК	2
5	505	24.04.68	создание ЯО	6,2	ВНК	1
6	107	29.06.78	создание ЯО	14	ВПК	2

¹⁾ ВПК (взрыв полного камуфлета) – подземный взрыв полного внутреннего действия, сопровождающийся образованием подземной полости; истечение газообразных продуктов деления в атмосферу не наблюдается. ВНК (взрыв неполного камуфлета) – подземный взрыв полного внутреннего действия, сопровождающийся, как правило, незначительным выбросом в атмосферу короткоживущих радионуклидов.

Отбор проб снежного покрова проводился по-слойно на глубину 0-10 и 10-20 см. В случаях, когда общий слой снега был менее 20 см, отбор проб снега проводился на глубину 0-10 см и на оставшуюся глубину до подстилающей поверхности. Измерение толщины снежного покрова проводилось посредством мерной линейки.

Для определения содержания трития пробы снега помещались в полиэтиленовый пакет и размораживались до жидкого состояния. Полученные образцы помещались в пластиковую пробирку объемом 20 мл. Для удаления механических примесей проводилась фильтрация образцов снежного покрова с помощью фильтров «Синяя лента». Полученный отфильтрованный образец помещали в пластиковую емкость объемом 20 мл и добавляли сцинтилляционный коктейль в пропорции 3:12 мл соответственно.

Определение удельной активности трития в пробах снега проводилось по стандартной методике [8] с использованием жидкосцинтилляционного спектрометра TriCarb 2900 TR.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследование динамики содержания трития в снежном покрове

На рисунке 2 представлены сравнительные результаты исследования динамики содержания трития в снежном покрове на приустьевой площадке боевой скважины 1355 в декабре 2011 г. и марте 2012 г.

За весь период обследования в поверхностном слое снежного покрова тритий не обнаружен. Лишь в нескольких случаях, в декабре 2011 года в точках координатной сетки 20 и 63 (рисунок 2 а, в), отмечены максимальные концентрации трития в снежном покрове, достигающие 25 и 45 Бк/кг соответственно.

В марте 2012 года (рисунок 2 б, г) концентрация трития в приземном слое снега увеличилась и достигала 75-100 Бк/кг.

Результаты исследования показали, что содержание трития в снежном покрове меняется с течением времени, при этом максимальное накопление трития, достигающее в приземном слое снега значений 75-100 Бк/кг, происходит в весенний период.

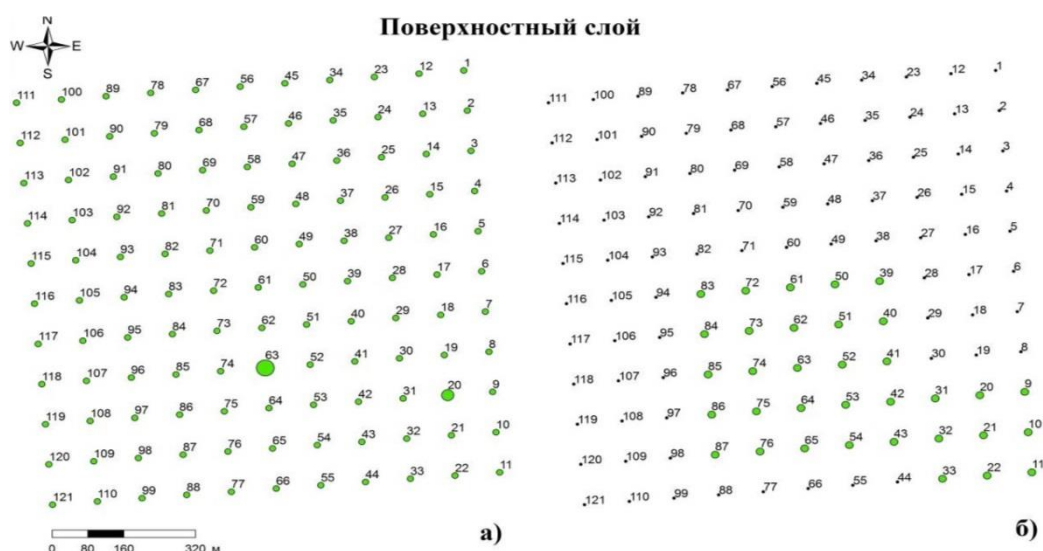


Рисунок 2 – Содержание трития на приустьевой площадке боевой скважины 1355:
а – поверхностный слой в декабре 2011 г.; б – поверхностный слой в марте 2012 г.

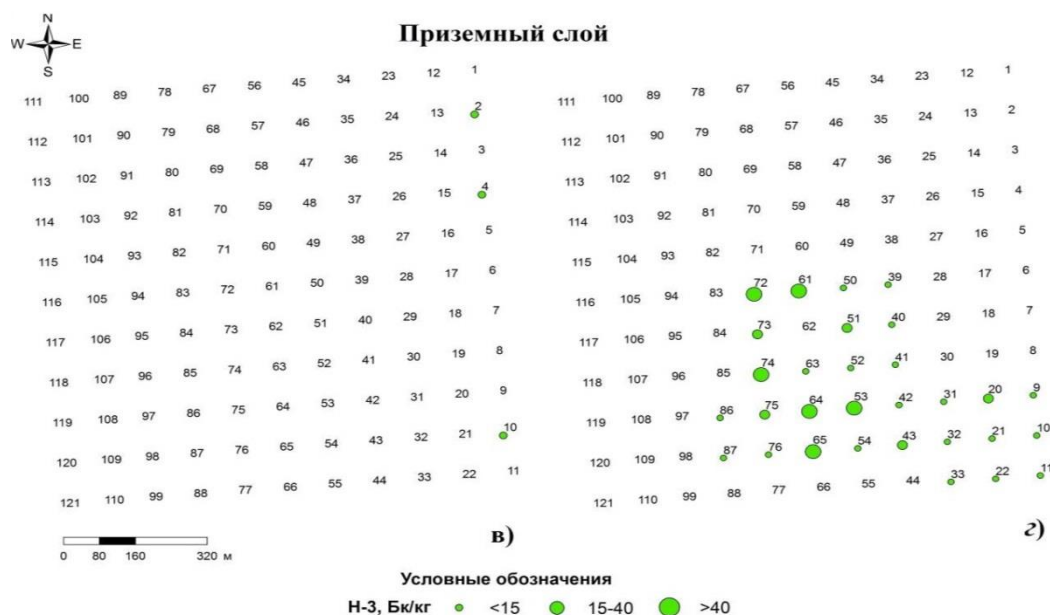


Рисунок 2 (продолжение) – Содержание трития на приустьевой площадке боевой скважины 1355: в – приземный слой в декабре 2011 г.; г – приземный слой в марте 2012 г.

Оценка накопления трития в снежном покрове над эпицентрами ПЯВ штолен

В таблице 2 представлены результаты исследования содержания трития в снежном покрове над эпицентрами ПЯВ штолен площадки «Дегелен».

Таблица 2 – Содержание трития в снежном покрове на штольнях площадки «Дегелен»

Объект ПЯВ	Удельная активность трития в воздухе [4], Бк/кг	Удельная активность трития в снеге, Бк/кг	Слой снежного покрова
Штольня 511		<13	поверхностный
		<13	приземный
Штольня 138		<13	поверхностный
		<12	приземный
Штольня 136	50	<12	поверхностный
		<13	приземный
Штольня 505	45	<12	поверхностный
		<13	приземный
Штольня 107	70	350±30	поверхностный
		100±12	приземный
Штольня 501	320	<13	поверхностный
		<12	приземный

Как видно из полученных результатов, над эпицентром ПЯВ штолен площадки «Дегелен» концентрация трития в поверхностном и приземном слое снежного покрова не превышает предел обнаружения трития – 12-13 Бк/кг. В единичном случае, на штольне 107, отмечены максимальные концентрации трития в слоях снежного покрова, при этом в поверхностном слое снега концентрация трития больше, чем в приземном слое.

Выводы

Проведенные исследования содержания трития в снежном покрове [5,9,10] выявили наличие 2 основных механизмов поступления трития в снег:

- эманация трития с подстилающей поверхности почвенного или ледяного покрова;
- поступление трития атмосферным путем, в результате осаждения тритийсодержащих водяных паров на частицах снежного покрова в момент выпадения осадков.

Совокупность полученных данных позволяет предположить, что на приустьевом участке скважины 1355 площадки «Балапан» наиболее вероятным механизмом поступления трития в снежный покров является эманация трития из подстилающей поверхности почвенного покрова. Для подтверждения этого предположения имеется несколько очевидных фактов. За весь период снегоотложения (с декабря по март) выявлена тенденция увеличения концентрации трития в снежном покрове, при этом концентрация трития в приземном слое снега больше концентрации трития в поверхностном слое снежного покрова. Вблизи приустьевого участка отсутствуют поверхностные водотоки, при этом ближайший возможный источник трития расположен на расстоянии 10 км – река Шаган [10] и 50 км площадка «Дегелен» [5]. Также известно [9], что на расстоянии более чем на 300 м от основного русла водотока загрязнение тритием становится пренебрежимо малым из-за разбавления трития в воздушных массах. Это значит, что загрязнение тритием на реке Шаган и ручьях на площадке «Дегелен» не может привести к появлению трития на приустьевых участках мест проведения подземных ядерных взрывов.

Таким образом, содержащийся в снежном покрове тритий на приустьевом участке скважины 1355 поступает из подстилающей поверхности почвенного покрова, а именно, из близко расположенного водоносного горизонта или котловой полости ПЯВ.

Для подтверждения или опровержения данного предположения на приустьевом участке скважины 1355 необходимо пробурить разведывательные скважины, определить глубину залегания, уровень и удельную активность трития подземных вод, а также удельную активность трития в почвенном покрове на различной глубине от подстилающей поверхности.

Над эпицентрами ПЯВ штолен 511, 138, 501, 136 и 505 площадки «Дегелен» наличия трития в поверхностном и приземном слое снежного покрова из котловых полостей ПЯВ не наблюдается. В нескольких случаях над эпицентром штольни 107 имеется поступление трития в снежный покров, концентрация которого достигает 350 Бк/кг. Полученные ре-

зультаты не позволяют сделать вывод о поступлении трития в снежный покров из полости ПЯВ, поэтому на штольных площадки «Дегелен» необходимо провести более детальное обследование эпицентров штолен с большим количеством исследуемых точек.

Полученные данные свидетельствуют о применимости трития для обнаружения мест проведения ядерных испытаний.

Авторы статьи выражают благодарность сотрудникам Института радиационной безопасности и экологии Ульянкину В.А., Есимбекову А.Ж., за помощь при обеспечении и проведении экспедиционных работ, Ляховой О.Н. и группе общей химии ОРСМОС за пробоподготовку образцов снега.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hafemeister D. Progress in CTBT monitoring since its 1999 senate defeat / D. Hafemeister // Science and Global Security. – 2007. – V. 15. – P. 151-183.
2. Мясников Е.В. Методы верификации международных соглашений [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.armscontrol.ru/course/lectures03a/>, свободный. – 2003. – Ч. 1. – С. 1-9.
3. Сагарадзе Д.А. Разработка технологий пешеходной магнитометрии для целей инспекции на месте в рамках Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.referun.com/n/razrabotka-tehnologii-peshехodnoy-magnitometrii-dlya-tseley-inspektcii-na-meste-v-ramkah-dogovora-o-vseobemlyuschem-zapre>, свободный. – 2005. – С. 3.
4. Ляхова О.Н. Тритий как индикатор мест проведения ядерных испытаний / О.Н. Ляхова, С.Н. Лукашенко, Н.В. Ларионова, С.Б. Субботина // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2010 г.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Т. 2. – Вып. 3. – Павлодар: Дом печати, 2011. – С. 121-142. – ISBN 978-601-7112-53-0.
5. Турченко Д.В. Изучение содержания трития в снежном покрове горного массива Дегелен / С.Н. Лукашенко, А.О. Айдарханов, О.Н. Ляхова // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2010 г.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Т. 2. Вып. 3. – Павлодар: Дом печати, 2011. – С. 233-242. – ISBN 978-601-7112-53-0.
6. Ядерные испытания СССР / под ред. В.Н. Михайлова. – М., 1997. – 467 с.
7. Data base of nuclear tests. USSR 1949-1990 [Электронный ресурс] / PHP- Nuke Copyright by Francisco Burzi, 2005. – Режим доступа: <http://www.sonicbomb.com>, свободный. – Загл. с экрана.
8. Качество воды – определение активности трития, соответствующей данной концентрации – жидкостной метод сцинтилляционного счета: Международный стандарт ISO 9698/1989. – Введ. 1989-12-01. – Москва: ВЦП НТЛИД, 1990. – 17 с.
9. Турченко Д.В. Изучение содержания трития в снежном покрове населенных пунктов прилегающих к территории СИП / С.Н. Лукашенко, А.О. Айдарханов, О.Н. Ляхова // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2011 г.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Т. 2. – Вып. 4. – Павлодар: Дом печати, 2012.
10. Турченко Д.В. Изучение содержания трития в снежном покрове на реке Шаган / С.Н. Лукашенко, А.О. Айдарханов, О.Н. Ляхова // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2011 г.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Т. 2. – Вып. 4. – Павлодар: Дом печати, 2012.

ҚАР ЖАМЫЛҒЫСЫНДАҒЫ ТРИТИЙДІ ЖЕРАСТЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРЫН АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН ИНДИКАТОР РЕТІНДЕ ПАЙДАЛАНУ

Турченко Д.В., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О., Ляхова О.Н.

ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Қурчатов, Қазақстан

Мақалада, жерасты ядролық жарылыстары өткізілген жерлерден тритийдің құрамын зерттеу нәтижелері келтірілген. «Балапан» алаңының 1355 әскери ұңғымасынан, қыс пен жаздың басында қар жамылғысындағы тритийдің салыстырмалы түрдегі құрамы алынды, олардың нәтижелері бойынша топырақ жамылғысынан тритийдің қарға өтуі жайлы қорытынды жасалды. Наурыз айындағы қар жамылғысының жербеткі қабатында 75–100 Бк/кг жететін тритийдің максималды шоғырлану деңгейі анықталды. «Дегелен» алаңының штольнялары эпиорталықтарындағы қар жамылғысында тритийдің құрамы – 12–13 Бк/кг анықтау шегінен асқан жоқ, тек бір жағдайда 107 штольняның қарындағы тритийдің шоғырлануы 350 Бк/кг-ға жетті.

USE OF TRITIUM IN SNOW COVER AS AN INDICATOR FOR DETECTING
UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS

D.V. Turchenko, S.N. Lukashenko, A.O. Aidarkhanov, O.N. Lyakhova

Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The paper presents the results of a study of tritium in the places of underground nuclear explosions. At warfare borehole 1355 of “Balapan” site we obtained comparative tritium concentrations in snow early in the winter and spring, the results of which concluded that tritium comes in the snow from the soil. In March, the greatest concentration of tritium in the surface layer of the snow cover was observed reaching 75–100 Bq/kg. Above epicenters of the tunnels at “Degelen” site tritium content in the snow cover did not exceed the detection limit – 12–13 Bq/kg, only in one case in the tunnel 107 tritium concentration in the snow reached 350 Bq/kg.

УДК 577.4:551.49:504.064:539.16

СОВРЕМЕННОЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ СИП «САРЫ-УЗЕНЬ»

¹⁾ Субботин С.Б., ¹⁾ Стрильчук Ю.Г., ¹⁾ Новикова Е.А., ¹⁾ Романенко В.В., ²⁾ Пестов Е.Ю., ²⁾ Бахтин Л.В.

¹⁾ Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

²⁾ Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В статье рассмотрены факторы и механизмы формирования радиационной обстановки на площадке «Сары-Узень». Представлены результаты исследований уровней радиоактивного загрязнения грунтов в пределах приустевых площадок «боевых» скважин. Рассмотрено современное радиэкологическое состояние подземных вод на данной испытательной площадке, а также возможные пути распространения загрязненных подземных вод за пределы площадки «Сары-Узень».

ВВЕДЕНИЕ

После закрытия Семипалатинского испытательного полигона (СИП) проблема последствий подземных ядерных взрывов (ПЯВ) изучается в Казахстане с начала девяностых годов прошлого века. Основной объем проводимых работ связан с получением данных, характеризующих распределение техногенных радионуклидов, прежде всего, в почве, поверхностных и подземных водах, в воздухе. Проводятся исследования по изучению подземного пространства в местах проведения ПЯВ. В связи с тем, что в настоящее время отсутствуют методики подземного радиэкологического картирования и оценки динамики развития техногенных процессов на глубине, НЯЦ РК разрабатываются рекомендации по методам комплексной оценки состояния недр в местах проведенных ПЯВ.

Участки проведения ПЯВ должны быть отнесены к потенциально опасным объектам, аналогичным полигонам долговременного подземного захоронения РАО. Для выделения зон отчуждения, в пределах которых должно быть запрещено использование подземных ресурсов, в том числе и подземных вод, необходимо проведение поэтапного комплекса исследований. Данная проблема приобрела особую актуальность в настоящее время при проведении комплексных исследований с целью передачи части территорий СИП в хозяйственный оборот. Для достоверного выявления тенденций и прогноза развития геоэкологической обстановки в районах проведения ПЯВ одной из основных задач выступает изучение во времени причинно-следственных связей, наблюдаемых негативных эффектов с поствзрывным глубинным строением исследуемых блоков геологической среды и протекающими в них геодинамическими, гидродинамическими и радиомиграционными процессами.

В данной обзорной статье представлены результаты работ, проведенных подразделениями НЯЦ РК в разные годы, по изучению данной проблемы на одной из основных испытательных площадок СИП – «Сары-Узень».

1. ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ ОБ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ «САРЫ-УЗЕНЬ»

1.1. Ядерные испытания на площадке «Сары-Узень»

Согласно фоновым данным [1] в период с 1965 по 1980 гг. на площадке «Сары-Узень» проведено 24 подземных испытания в 25 «боевых» скважинах. Одно из подземных ядерных испытаний – «Лазурит» было осуществлено в непосредственной близости от площадки «Сары-Узень», в горном массиве Муржик.

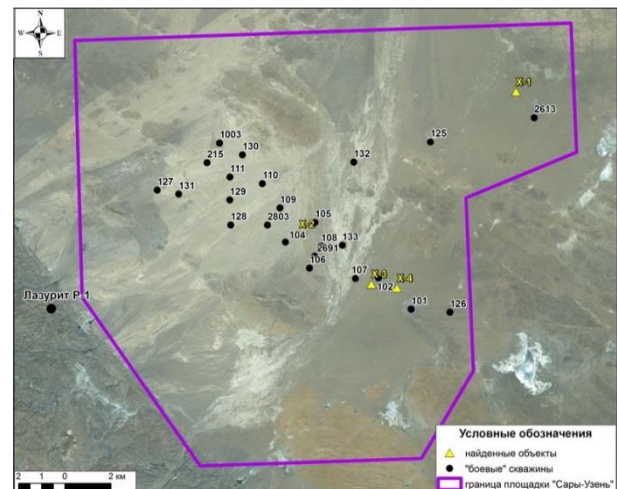


Рисунок 1 – Космоснимок территории пл. «Сары-Узень». Схема расположения «боевых» скважин

Стоит отметить, что официальной информации о расположении «боевых» скважин, а именно их координат, до настоящего времени нет. При проведении работ по идентификации «боевых» скважин сотрудниками ИРБЭ НЯЦ РК был использован космический снимок территории полигона и схема расположения скважин на площадке «Сары-Узень», представленная на рисунке 1. В результате дешифрирования космоснимка и сравнения полученных данных с имеющейся схемой было уточнено местоположение всех скважин и определены их ориентировочные координаты.

По результатам полевого обследования на площадке «Сары-Узень» были обнаружены 24 «боевые» скважины. Дополнительная информация об испытаниях на данной площадке использована из источников [2,3,4]. Кроме того, были обнаружены еще 4 оголовка неизвестных скважин по внешним признакам похожие на «боевые», которым были присвоены следующие номера: №№ Х-1, Х-2, Х-3, Х-4 (рисунок 1).

Необходимо обратить внимание, что различие между количеством испытаний (24 испытания) и известных скважин (25 скважин) обусловлено проведением 16.02.1979 г. группового подземного ядерного испытания в скважинах №109 и №2803. Стоит отметить, что в официальных источниках приводится неполная, либо несоответствующая действительности информация о радиационных эффектах ПЯВ. Так, по данным [1,2,4] выбросом грунта сопровождался только ПЯВ, проведенный в скважине 1003 (диаметр воронки по навалу породы 280 м, высота навала до 10 м). Однако по результатам обследования установлено, что выбросом грунта сопровождался ПЯВ в скважинах 101 и 125. При этом на скважине 101, образовавшаяся воронка значительно больше воронки скважины 1003. Также наличие воронки отмечено на скважине 104 радиусом до 100 м, глубиной до 10 м. Около скважин 110, 111, 131 и 215 в радиусе 150 м наоборот отмечено поднятие грунта до 2 м.

По данным [1,2,4] взрывы камуфлета полного (ВКП) отмечены в 7 скважинах (104, 105, 106, 107, 126, 2613 и 2691). По результатам обследования [3,7] на приустьевых площадках данных скважин отмечено существенное радиоактивное загрязнение. В связи с чем, эти скважины можно отнести к ВНК (взрыв неполного камуфлета). С другой стороны, среди «боевых» скважин 109, 110, 128 и 129 отмеченных в [1,2,4] как ВНК, при обследовании существенного радиоактивного загрязнения не обнаружено. В связи с чем, данные скважины можно отнести в категорию ВКП.

1.2. Факторы и механизмы формирования радиационной обстановки на площадке «Сары-Узень»

1.2.1. Локальные загрязнения эпицентральных зон ПЯВ на площадке «Сары-Узень»

Исходя из данных о радиационном эффекте во время проведения подземных ядерных испытаний загрязнение территории площадки вызвано нештатными радиационными ситуациями, которые произошли во время испытаний ядерных устройств в скважинах №№101, 111 и 215, а также при экскавационных взрывах в скважинах №1003 и №125.

Очаги локального загрязнения грунтов на дневной поверхности в пределах эпицентральных зон образовались, в основном, в результате воздействия ближних выпадений, обусловленных выбросом радиоактивных газов и аэрозолей при ядерных испы-

таниях в «боевых» скважинах. По результатам аэрогаммасъемки хорошо детектируются следы локальных радиоактивных выпадений в районе скважин 1003 и 125, а также протяженный (более 10 км) след радиоактивных выпадений от испытания в скважине 101.

Инженерно-геологические условия проведения ПЯВ на площадке «Сары-Узень» во многом схожи с площадкой «Балапан». В связи с чем, механизм поступления техногенных радионуклидов из блоков горных пород в подземные воды так же имеет сходство с подобными участками на площадке «Балапан» и достаточно подробно описан в работе [5].

1.2.2. Загрязнение грунтов дневной поверхности вследствие глобальных атмосферных выпадений

В настоящее время практически в любом месте нашей планеты можно обнаружить радиоактивное загрязнение окружающей среды, образовавшееся в результате проведения различных ядерных испытаний, аварий на АЭС.

Дело в том, что при проведении воздушных ядерных испытаний значительная часть радиоактивных продуктов выбрасывается в стратосферу. Радиоактивные аэрозоли микроскопических размеров ($\sim 4 \cdot 10^{-5}$ см) в составе радиоактивного облака остаются в стратосфере от нескольких месяцев до нескольких лет, а ветры переносят это облако над всей Землей (стратосферный перенос).

Искусственные радионуклиды из атмосферы с осадками и сухими выпадениями поступают на поверхностный слой почвы. Плотность этих, так называемых глобальных выпадений, зависит от географической широты местности, от времени, прошедшего после выброса искусственных радионуклидов (ИРН) в атмосферу, от сезона и от метеорологических факторов [6].

После подписания в 1963 г. договора о запрещении ядерных испытаний в атмосфере, в космосе и под водой радиоактивность атмосферы прогрессивно снижалась и к настоящему времени понизилась в сотни раз. Кратковременное увеличение радиоактивного загрязнения атмосферы Земли за последнее десятилетие было отмечено в 1986 г. в результате аварии на Чернобыльской АЭС [6].

По результатам проведенных расчетов [6] удельная активность глобальных выпадений на 2010 г. составляет: ^{137}Cs – 15,2 Бк/кг; ^{90}Sr – 9,4 Бк/кг; ^{151}Sm – 1,2 Бк/кг и ^{99}Tc – 0,2 Бк/кг.

2. СОВРЕМЕННОЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ «САРЫ-УЗЕНЬ»

2.1 Результаты среднемасштабных (1 : 200 000, 1 : 100 000) радиологических исследований

Общая методология работ

Среднемасштабные (1 : 200 000) радиологические исследования в районе площадки «Сары-Узень»

были проведены для уточнения расположения радиоактивно-загрязненных участков местности, на которых в дальнейшем необходимо провести более детальные (крупномасштабные) исследования.

Среднемасштабные площадные радиологические исследования (рисунок 2) заключались в измерении радиационных параметров и отборе проб почвы в точках, расположенных в узлах сети обследования 2×2 км. Для изучения распределения радионуклидов в глубину почвенного покрова дополнительно в 10 точках был проведен послойный отбор проб почвы с шагом 5 см на глубину 15 см из тех же прямых, что и основная проба. Изучение распределения радионуклидов по глубине в почвенных разрезах проводилось в местах, равномерно расположенных по всей обследованной территории.

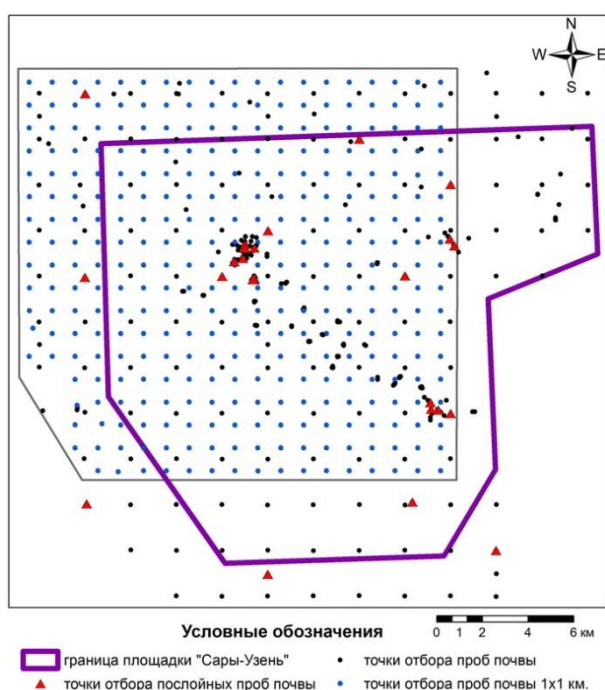


Рисунок 2 – Схема точек отбора проб почвы при среднемасштабных исследованиях

Среднемасштабные (1 : 100 000) радиологические исследования проводились на территории западной части СИП, покрывая около 80 % территории площадки «Сары-Узень» (рисунок 2). Площадное радиологическое обследование проводилось по регулярной сетке 1×1 км в фиксированных точках, смещенной относительно сети обследования масштаба 1 : 200 000 на 500×500 метров (расстояние около 700 метров). В каждой точке обследования был проведен отбор пробы почвы и проведены измерения мощности эквивалентной дозы (МЭД) гамма-излучения на поверхности почвы и на высоте 1 м.

Результаты и обсуждения

Результаты измерения радиационных параметров показали, что плотность потока α - и β -частиц находится на фоновом уровне и не превышает предела обнаружения прибора 0,5 и 10 част/(мин·см²), соответственно. Диапазон значений МЭД составил: на поверхности почвы – 0,1-0,23 мкЗв/ч и на высоте 1 м – 0,1-0,21 мкЗв/ч, что незначительно превышает фоновые значения для территории СИП, равные 0,13-0,15 мкЗв/ч.

По результатам лабораторных анализов были построены карты распределения радионуклидов ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am, ⁹⁰Sr, ^{239,240}Pu в пределах обследованной площади (рисунок 3 а, б, в, г) [7].

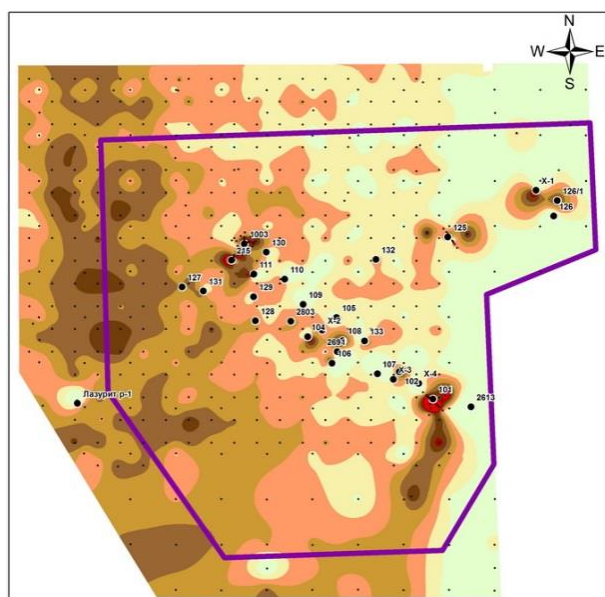
Площадная активность радионуклида ¹³⁷Cs в 45% обследованных точек превышает фон глобальных выпадений (ФГВ) равный ~65 мКи/км² (15 Бк/кг), в остальных случаях находится на уровне или ниже фона. Площадная активность ⁹⁰Sr в 30% обследованных точек находится выше ФГВ, равного ~39 мКи/км² (9 Бк/кг). Практически во всех пробах почвы удельная активность ^{239,240}Pu превышает ФГВ, составляющий 0,55-2,67 Бк/кг (до ~12 мКи/км²). Максимальное превышение составляет до 52 раз [8].

Максимальные величины содержания данных радионуклидов зарегистрированы в южной, юго-западной и западной части обследованной территории. Загрязненные участки территории совпадают со следом радиоактивных выпадений от наземного испытания 24.09.1951 г., а также приустьевыми площадками скважин 1003, 101, 125, 215. Также наблюдаются повышенные значения радионуклидов в районе приустьевых площадок других скважин. Повышенное содержание радионуклидов на приустьевых площадках скважин обусловлено выходом продуктов ядерных взрывов на дневную поверхность. Более детально загрязнение приустьевых площадок будет рассмотрено далее.

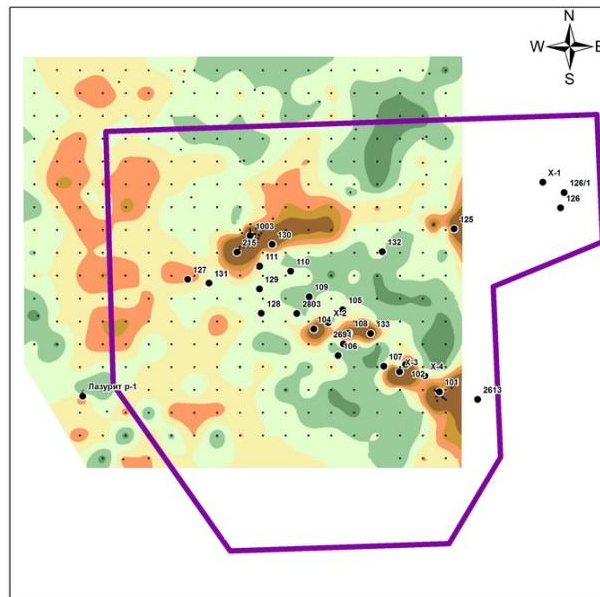
2.1.1. Оценка распределения радионуклидов по глубине почвенного покрова

Для изучения распределения ¹³⁷Cs по глубине проведены анализы. Особенность распределения ¹³⁷Cs заключается в том, что максимальное содержание находится в верхнем 5-ти сантиметровом слое, а затем происходит резкое снижение активности в нижних слоях (рисунок 4). Полученные данные о распределении ¹³⁷Cs по глубине согласуются с ранее проведенными исследованиями на территории СИП [6].

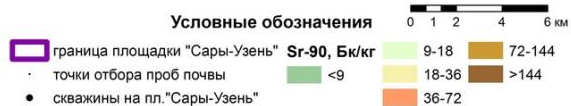
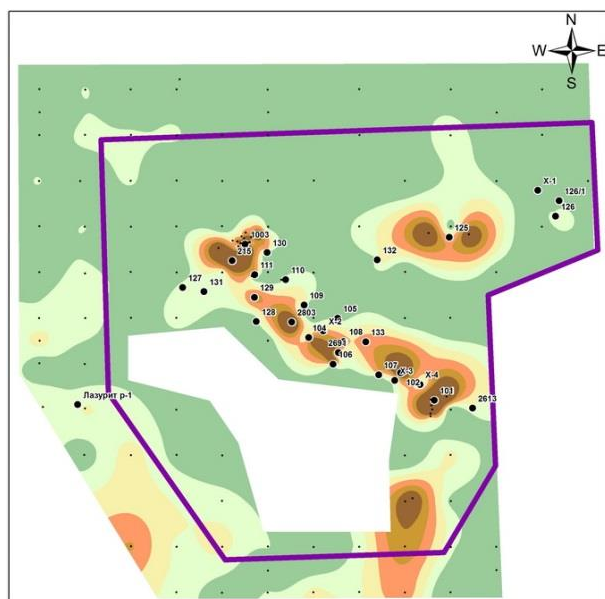
**СОВРЕМЕННОЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
НА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ СИП «САРЫ-УЗЕНЬ»**



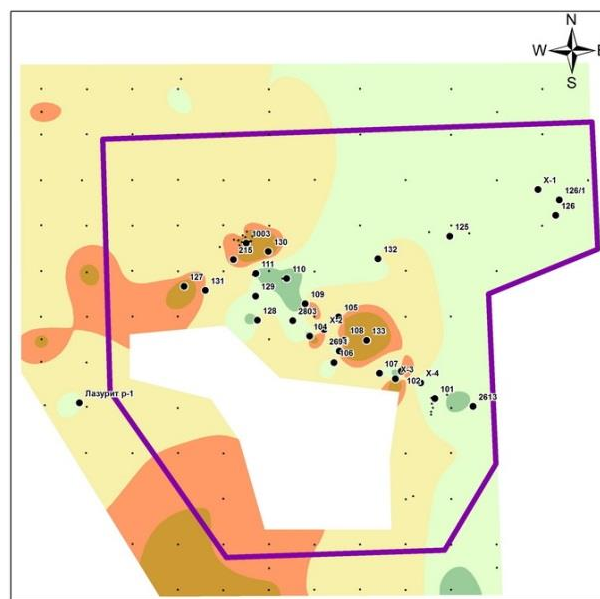
а)



б)



в)



г)

*Рисунок 3 – Распределение радионуклидов на площадке Сары-Узень:
а – ^{137}Cs , б – ^{241}Am , в – ^{90}Sr , г – $^{239+240}\text{Pu}$*

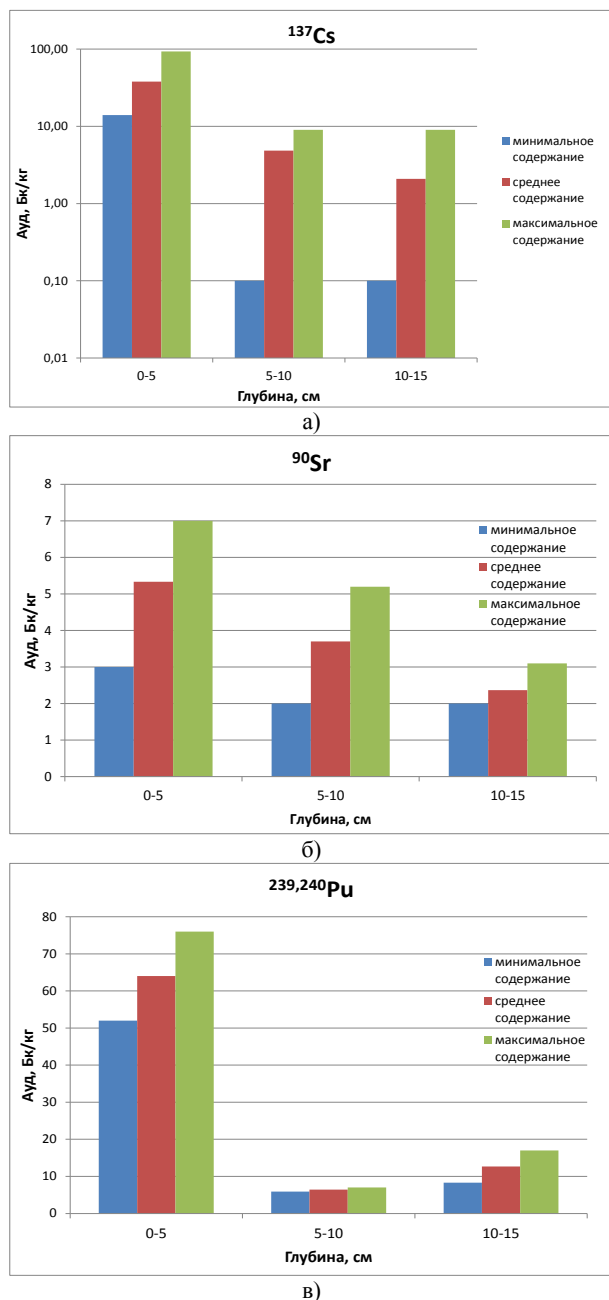


Рисунок 4 – Распределение радионуклидов по глубине почвенного профиля: а – ^{137}Cs , б – ^{90}Sr , в – $^{239,240}\text{Pu}$

Для проведения лабораторных анализов по определению содержания ^{90}Sr и $^{239,240}\text{Pu}$ в послойных образцах почвы из 5 почвенных профилей, расположенных на загрязненной территории, были выбраны 3 профиля. Удельная активность ^{90}Sr хотя и уменьшается с глубиной, но при этом нет резкого спада активности.

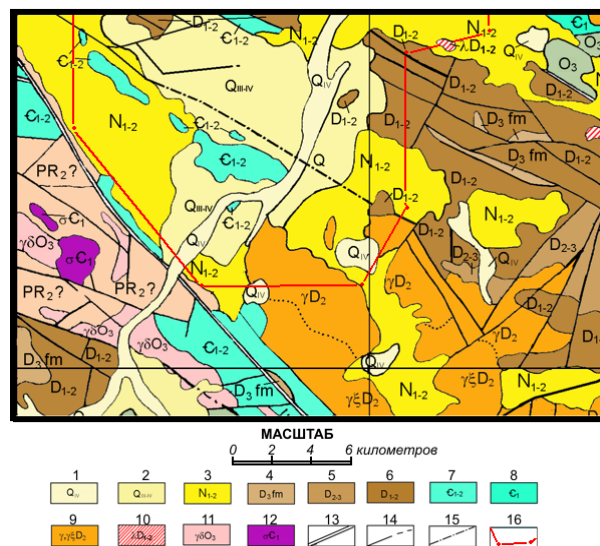
Результаты изучения характера распределения радионуклидов на глубину показали, что распределение ^{90}Sr в почвенном профиле происходит более равномерно, в отличие от ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$. Значительное содержание ^{90}Sr в нижнем слое (10-15 см) подтверждает его высокую миграционную способ-

ность, а также предполагает наличие этого радионуклида в более глубоких слоях почвенного профиля. Характер распределения $^{239+240}\text{Pu}$ идентичен распределению ^{137}Cs .

2.2. Миграция радионуклидов с подземными водами на площадке «Сары-Узень»

2.2.1. Геолого-гидрогеологические условия миграции техногенных радионуклидов

Территория площадки «Сары-Узень» расположена в пределах восточной окраины Центрального Казахстана, в межгорной долине Алтыбай, окаймленной с запада горной цепью Муржик, с востока горами Майлыкара и Дегелен. Геоморфологически вся территория располагается в пределах Казахского мелкосопочника. В геологическом строении территории принимают участие дислоцированные метаморфические, вулканогенно-осадочные отложения протерозоя, девона и нижнего карбона и горизонтально лежащие песчанисто-глинистые рыхлые осадки неогеновой и четвертичной систем (рисунок 5).



1 - современные четвертичные отложения; 2 - верхнечетвертичные-современные отложения; 3 - неогеновые глины; 4 - верхний девон, фаменский ярус; 5 - осадочные породы среднего и верхнего девона; 6 - вулканогенные образования нижнего и среднего девона; 7 - породы различного генезиса нижнего-среднего кембрия; 8 - порфириды нижнего кембрия; 9 - среднедевонские граниты и гранодиориты; 10 - липариты ранне-среднедевонские; 11 - гранодиориты ордовика; 12 - раннекембрийские ультрабазиты; 13 - линии долгоживущих разломов; 14 - тектонические разломы достоверные и предполагаемые; 15 - тектонические контакты перекрытые рыхлыми отложениями; 16 - граница площадки «Сары-Узень»

Рисунок 5 – Схематическая геологическая карта площадки «Сары-Узень»

Более подробное описание геологического строения и гидрогеологических условий площадки «Сары-Узень» представлено в работе [9].

Подземные воды площадки «Сары-Узень» представлены двумя типами:

- поровые воды аллювиальных и пролювиальных отложений;

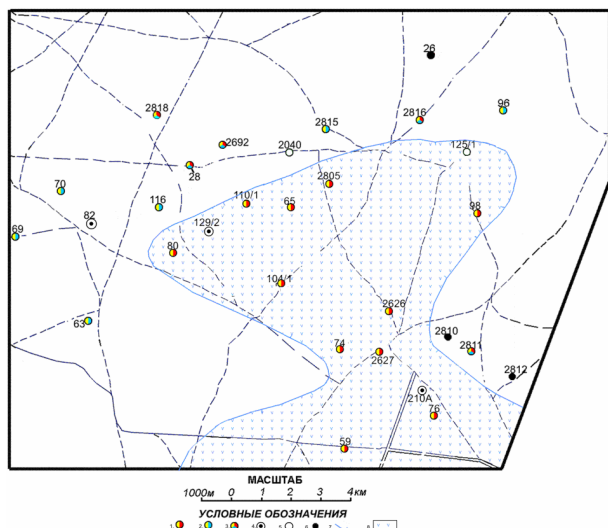


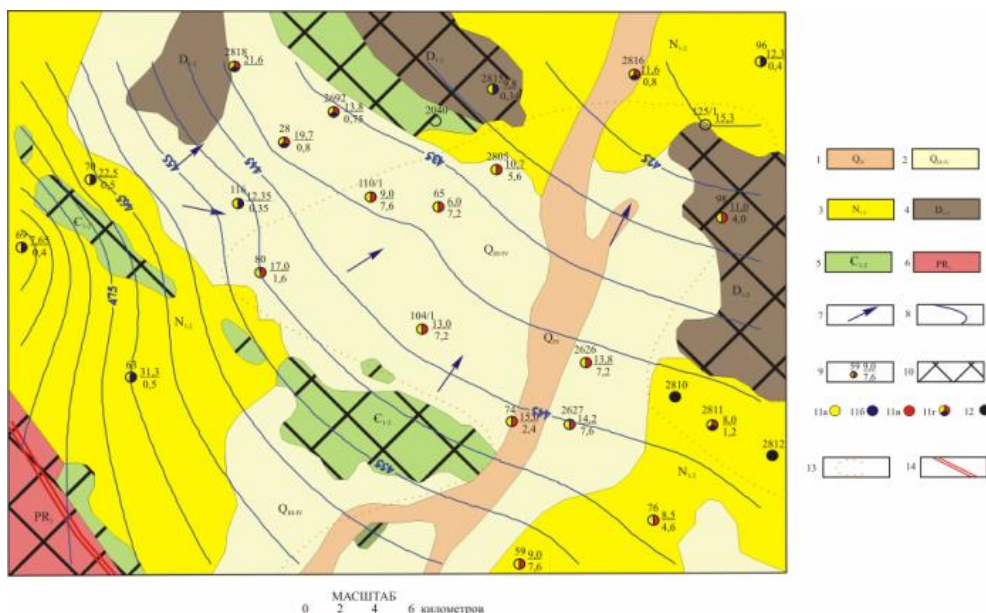
Рисунок 6 – Схематическая карта химического состава подземных вод площадки «Сары-Узень»

– трещинные воды зоны экзогенной трещиноватости пород фундамента.

Подземные воды описываемой территории имеют смешанный состав. Как видно на рисунке 6 – в центральной и южной частях участка подземные воды имеют застойный режим, что обуславливает повышенную минерализацию ($1,3-7,6 \text{ г/дм}^3$) подземных вод. На этом участке, окаймленном со всех сторон мелкосопочником и имеющем выход только вдоль сухого русла Сары-Узень, в северном направ-

лении, подземные воды имеют хлоридно-сульфатный натриевый состав. По периферии этого бассейна подземные воды пресные, с минерализацией от $0,3$ до $0,8 \text{ г/дм}^3$ хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатного состава от кальциево-натриевых до магниевых-кальциевых.

Для анализа структуры подземного стока на площадке «Сары-Узень» использована схематическая гидрогеологическая карта (рисунок 7). В качестве исходных данных этой карты использованы значения абсолютных отметок уровней подземных вод, определенные при опробовании буровых скважин и хранящиеся в электронной базе данных. Показанное на рисунке 7 распределение величин гидростатического напора, дает возможность оценить направление подземного стока. Региональный фильтрационный поток направлен от области питания к области дренирования (разгрузки). Направление этого потока, определенное по схеме, показанной на рисунке 7, дает основание определить пространственное положение областей питания и разгрузки подземных вод. В качестве региональной дрены в данном случае выступает долина р. Иртыш, а область питания приурочена к возвышенным участкам поверхности в западной части площадки. Абсолютные отметки уровня изменяются от 500 м на западе участка, вблизи региональной области питания, приуроченной к горам Муржик и Аркалык (Главный Чингизский разлом), снижаясь до $200-220 \text{ м}$ на северо-востоке участка, в области транзита.



1 и 2 - водоносные горизонты четвертичных отложений; 3 - водоупорные глины неогена; 4 и 5 - водоносный горизонт трещинных вод палеогенового фундамента; 6 - образования протерозоя; 7 - направление потока трещинных вод; 8 - гидроизогипсы и гидроизопьезы; 9 - гидрогеологические скважины; 10 - области питания водоносного горизонта трещинных вод (инфильтрации поверхностных вод); 11 - химический состав подземных вод (а - сульфатный анион, б - хлоридный анион, в - гидрокарбонатный анион, г - смешанного типа); 12 - безводная скважина; 13 - область распространения соленых вод; 14 - Главный Чингизский разлом.

Рисунок 7 – Схематическая гидрогеологическая карта участка «Сары-Узень»

Картина распределения напоров подземных вод показывает, что на общем региональном фоне в пределах отдельных участков направление фильтрационного потока претерпевает изменчивость. Это отражает неоднородную структуру трещинного пространства водовмещающих толщ и существенную неоднородность их фильтрационных свойств. В центральной части описываемой территории, на участке расположения боевых скважин, разрежение гидроизогипс свидетельствует о снижении градиента напора и скорости фильтрации, и, соответственно, замедлении водообмена.

Это подтверждается повышенной минерализацией вод (1,3–7,6 г/дм³). На этом участке, окаймленном со всех сторон мелкосопочником и имеющем выход только вдоль сухого русла Сары-Узень, в северо-восточном направлении, подземные воды имеют хлоридно-сульфатный натриевый состав, в то время как по периферии участка, ближе к областям питания, подземные воды пресные с минерализацией от 0,3 до 0,8 г/дм³, хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатного состава от кальциево-натриевых до магниевых.

2.2.2 Исследования уровней радиоактивного загрязнения подземных вод на площадке «Сары-Узень» и прилегающих территорий

В 2005 г. на площадке «Сары-Узень» было опробовано 20 гидрогеологических скважин (рисунок 8).

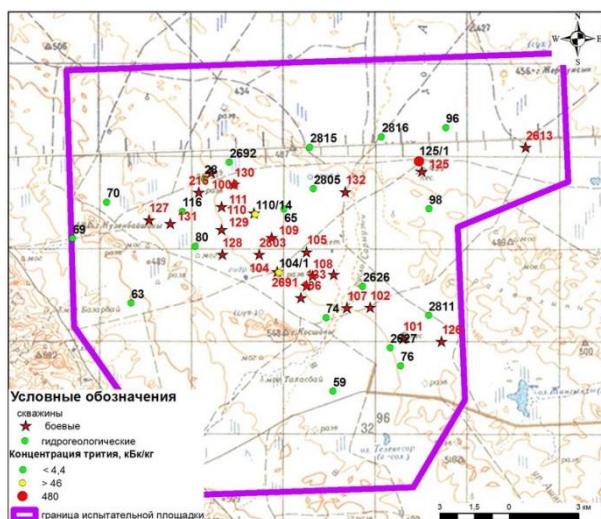


Рисунок 8 – Площадка «Сары-Узень». Схема расположения гидрогеологических скважин

В 2010 г. на площадке «Сары-Узень» было опробовано 10 гидрогеологических скважин (таблица 1).

Результаты лабораторных анализов показали, что концентрация радионуклидов в подземных водах, распространенных в пределах территории площадки, достигает следующих величин: ¹³⁷Cs до 3 мБк/л, ⁹⁰Sr до 10 мБк/л, ³H до 500 кБк/л. По представленным данным можно отметить, что основным радиоактивным загрязнителем подземных вод на данной площадке является ³H. При этом значения концент-

рации в воде ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr радиационной опасности не представляют и не превышают допустимые значения для питьевой воды.

Таблица 1 – Сравнительные результаты удельной активности трития (кБк/л) в пробах воды, отобранных из гидрогеологических скважин площадки «Сары-Узень»

№ скважины	до 2010 г.	2010 г.
28	<0,21	0,03
59	0,01	<0,008
63	<0,007	—
65	0,04	0,3
69	<0,007	—
70	<0,007	—
74	<0,007	—
76	<0,007	<0,008
80	<0,006	—
96	0,03	0,03
98	0,009	—
104/1	46,82	—
110/14	65,8	30
116	<0,007	—
125/1	482	—
189B	0,017	—
2626	0,49	0,2
2627	0,012	—
2692	0,012	—
2805	0,018	—
2805/1	—	5
2811	3,2	—
2815	0,8	25
2816	4,4	4
2818	0,01	—

«—» - измерения не проводились

Анализ полученных данных показал, что характер динамики концентрации ³H на площадке имеет неоднозначный характер. Особенности площадного распространения трития в подземных водах, в основном, зависят от направления подземного стока. Это отчетливо видно по значениям концентрации трития, отображенным на рисунке 8. При анализе данных можно выделить ряд скважин с предельно низкими значениями трития до уровня минимально детектируемой активности (МДА) используемого оборудования. Это гидрогеологические скважины (№№ 59, 63, 69, 70, 74, 76), которые расположены за пределами фронта миграции загрязненных вод. Данные по этим скважинам показывают, что в пределах площадки, несмотря на сложное геологическое строение, миграции техногенных радионуклидов с подземными водами в противоположную сторону движения регионального потока подземных вод, не происходит.

Максимальное значение концентрации трития (482 кБк/л) отмечено в скважине 125/1, расположенной в 460 м на север от «боевой» скважины 125. Для сравнения отметим, что скважина 104/1 расположена всего в 80 м от «боевой» скважины 104, но концентрация трития на порядок меньше, чем в скважине 125/1. Объяснением такой разницы могут являться следующие факторы. Во-первых, скважи-

на 125/1 расположена севернее (в пределах основного направления движения подземных вод) от источника загрязнения, которым является «боевая» скважина 125. К тому же в пределах скважины 125 распространены напорные подземные воды, что способствует более активному вымыванию радионуклидов из центральных зон ПЯВ в горизонт подземных вод. В отличие от 125/1, скважина 104/1 расположена восточнее от «боевой» скважины 104 и в пределах территории расположения скважины 104/1 распространены подземные воды с застойным режимом.

Стоит отметить, что при удалении от «боевых» скважин на первые километры, концентрация трития в воде резко снижается. Это видно по скважине 96, расположенной в 2 км на северо-восток от «боевой» скважины 125, а так же по ряду других скважин.

Выводы

1. Радиоактивное загрязнение грунтов на испытательной площадке «Сары-Узень»

Таким образом, данные, полученные в результате среднemasштабной съемки, дают основание утверждать, что радиоактивное загрязнение грунтов дневной поверхности на площадке «Сары-Узень» произошло в результате дальних выпадений от наземного ядерного взрыва 24.09.51 г., а также в результате ближних выпадений, обусловленных выбросом радиоактивных газов и аэрозолей при проведении ПЯВ в «боевых» скважинах на площадке «Сары-Узень». Участки радиоактивного загрязнения в пределах «боевых» скважин имеют очаговый характер. Влияние модельных экспериментов на формирование радиоактивного загрязнения почвенного покрова на территории пл. «Сары-Узень» не установлено.

Результаты изучения характера распределения радионуклидов на глубину при площадных исследованиях

ЛИТЕРАТУРА

1. Catalog of world wide nuclear testing / V.N. Mikhailov, editor-in-chief, U264. - 1999. - С.38.
2. Ядерные испытания СССР: Современное радиоэкологическое состояние полигонов / под рук. Л.А. Логачева – М.: ИздАТ, 2002. – 652 с. – ISBN 5-86656-135-2.
3. Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона Республиканская бюджетная программа 011 «Обеспечение радиационной безопасности»: отчет о РБП /ИГИ НЯЦ РК; рук. Беляшова Н.Н. – Курчатов: ИГИ НЯЦ РК, 2009.
4. Ядерные испытания в СССР [Цели. Общие характеристики. Организация ядерных испытаний. Первые ядерные испытания] / состав ред. И.А. Андрюшин, В.В. Богдан, С.А. Зеленцев. - Т.1. – Саров: РФЯЦ – ВНИИЭФ.
5. Субботин С.Б. Выявление путей миграции техногенных радионуклидов за пределы испытательной площадки «Балапан» / С.Б. Субботин, С.Н. Лукашенко, В.В. Романенко, В.В. Каширский, Е.Ю. Пестов, Э.М. Горбунова, К.И. Кузеванова //Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана.[Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2010 г.] /под рук. Лукашенко С.Н. – Т.2. – Вып. 3. - Павлодар: Дом печати, 2011. - С 161-232.
6. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Радиоэкологическое состояние "северной" части территории Семипалатинского испытательного полигона] / под рук. Лукашенко С.Н. – Вып. 1. – Павлодар: Дом печати, 2010. – 234 с.: ил. - Библиогр.: С.28-34. - ISBN 978-601-7112-28-8.
7. Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона Республиканская бюджетная программа 011 «Обеспечение радиационной безопасности»: отчет о РБП /ИРБЭ НЯЦ РК; рук. Лукашенко С.Н. – Курчатов: ИРБЭ НЯЦ РК, 2006.

ниях показали, что с глубиной происходит снижение значений удельной активности техногенных радионуклидов. При этом удельная активность ^{90}Sr хотя и уменьшается с глубиной, но резкого спада активности не происходит. Его распределение в почвенном профиле происходит более равномерно, в отличие от ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$. Значительное содержание ^{90}Sr в нижнем слое (10-15 см) подтверждает его высокую миграционную способность, а также предполагает наличие этого радионуклида в более глубоких слоях почвенного профиля. Характер распределения $^{239+240}\text{Pu}$ идентичен распределению ^{137}Cs .

2. Состояние подземных вод на испытательной площадке «Сары-Узень»

Региональный фильтрационный поток имеет северо-восточное направление движения. Область питания приурочена к возвышенным участкам поверхности в западной части площадки. Региональной дренажной является долина р.Иртыш.

Концентрация техногенных радионуклидов в подземных водах, распространенных в пределах территории площадки, достигает следующих величин: ^{137}Cs до 3 мБк/л, ^{90}Sr до 10 мБк/л, ^3H до 500 кБк/л. По представленным данным можно отметить, что основным радиоактивным загрязнителем подземных вод является ^3H . При этом значения концентрации в воде ^{137}Cs и ^{90}Sr не превышают допустимые значения для питьевой воды.

По результатам опробования гидрогеологических скважин в 2005 и 2010 гг. отмечена тенденция постепенного снижения концентрации ^3H в подземных водах.

Характер площадного распространения трития в подземных водах зависит от направления подземного стока. При удалении от «боевых» скважин на первые километры, концентрация трития в воде резко снижается.

8. Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности», утв. Постановлением Правительства РК № 201 от 03.02.2012. – Приложение 4.
9. Коновалов В.Е. Карта районирования территории Семипалатинского испытательного полигона и методика комплексной оценки пригодности геологических формаций для изоляции РАО // Геофизика и проблемы нераспространения / В.Е. Коновалов, И.Н. Рощин // Вестник НЯЦ РК. -2002. - Вып.2.- С.130-136.

ССП «САРЫ-ӨЗЕН» СЫНАҚ АЛАҢЫНДАҒЫ ҚОРШАҒАН ОРТАНЫҢ ҚАЗІРГІ РАДИОЭКОЛОГИЯЛЫҚ АХУАЛЫ

¹⁾ Субботин С.Б., ¹⁾ Стрильчук Ю.Г., ¹⁾ Новикова Е.А., ¹⁾ Романенко В.В., ²⁾ Пестов Е.Ю., ²⁾ Бахтин Л.В.

¹⁾ ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов қ., Қазақстан

²⁾ ИҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов қ., Қазақстан

Мақалада, «Сары-Өзен» сынақ алаңындағы радиациялық жағдайдың қалыптасу механизмдері мен факторлары қарастырылды. «Әскери» ұңғымалардың сағалық алаңдарының шегіндегі топырақтың радиоактивті ластану деңгейін зерттеу нәтижелері келтірілді. Аталған сынақ алаңындағы жерасты суларының қазіргі радиоэкологиялық ахуалы, сонымен қатар «Сары-Өзен» алаңының шегінен тыс жерлерге ластанған жерасты суларының мүмкін деген таралу жолдары қарастырылды.

CURRENT RADIOECOLOGICAL STATE OF THE ENVIRONMENT AT “SARY-UZEN” SITE OF THE STS

¹⁾ S.B. Subbotin, ¹⁾ Yu.G. Strilchuk, ¹⁾ E.A. Novikova, ¹⁾ V.V. Romanenko, ²⁾ E.Yu. Pestov, ²⁾ L.V. Bakhtin

¹⁾ Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

²⁾ Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The paper describes the factors and mechanisms of formation of the radiation situation at “Sary-Uzen” site. The results of investigations of soils radioactive contamination of within near-mouth areas of “warfare” wells are provided in the paper. The current radioecological situation of groundwater at this site, as well as possible pathways of contaminated groundwater migration beyond “Sary-Uzen” site is considered in the paper.

УДК551.49: 504.5.054: 539.16

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ И МЕХАНИЗМОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ ВОД РЕКИ ШАГАН (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ 2011–2012 ГГ.)¹⁾ Субботин С.Б., ¹⁾ Романенко В.В., ¹⁾ Новикова Е.А., ²⁾ Бахтин Л.В.¹⁾ *Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*²⁾ *Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

В статье представлены результаты исследований участка Жананской депрессии в пределах долины реки Шаган с целью уточнения путей и механизмов поступления, загрязненных тритием подземных вод в воды реки и далее за границы площадки «Балапан». В результате выполненных геофизических и буровых работ подтверждено блоковое строение рассматриваемого массива и наличие тектонических нарушений. По данным опытно-фильтрационных работ и отобраным пробам воды из наблюдательных скважинах уточнены гидрогеологические условия участка и химический состав подземных вод. Выполнен пространственно-временной анализ миграции радионуклидов в различных типах вод – русловых, поровых, трещинно-пластовых и трещинно-жильных вдоль восточной границы площадки «Балапан». Разработаны предложения по проведению дальнейших исследований.

ВВЕДЕНИЕ

Единственным поверхностным водотоком на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) является маловодная река Шаган с притоком Ащису. Она протекает вдоль восточной границы СИП и является левобережным притоком реки Иртыш. Общие сведения по реке Шаган и гидрологические данные представлены в работах [1, 2].

По результатам проведенных исследований в 2011 г. было установлено, что удельная активность ³H в водах «Атомного» озера находится в интервале от 20 до 60 Бк/кг. Значения удельной активности ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu находятся ниже минимально детектируемой активности используемых средств измерений, равной 0,02, 0,06 и 0,019 Бк/кг соответственно [3] и не превышают допустимых значений для питьевой воды [4].

После выхода реки за пределы «Атомного» озера наблюдается существенное повышение концентрации трития в воде. Исследования показали, что основным источником радиоактивного загрязнения являются подземные воды, разгружающиеся с левого берега в реку Шаган на территории площадки «Балапан». Содержание ³H в подземных и поверхностных водах подвержено сезонным и годовым вариациям и зависит не только от метеорологических и гидрологических факторов, но и от гидрогеологических параметров рассматриваемых водоносных горизонтов. Максимальное значение концентрации трития 700 кБк/кг зафиксировано в 2009 г. на расстоянии 4,4 км севернее «Атомного» озера и почти в 100 раз превышает установленный ГН СЭТОРБ 2012 уровень вмешательства (7,6 кБк/кг) для населения при поступлении с водой и пищей [4]. В дальнейшем наблюдается постепенное снижение концентрации трития в реке. В месте слияния реки Шаган с рекой Иртыш содержание трития не превышает 50 Бк/кг [3].

Основная цель данной работы заключается в уточнении механизма поступления загрязненных под-

земных вод в воды р. Шаган на участке развития Жананской зоны смятия. В период 2009–2012 гг. исследования проводились на двух участках.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Выбор общей методологии работ обоснован особенностями геологического строения и гидрогеологических условий района работ. По фондовым данным на участке Жананской депрессии в пределах долины реки Шаган установлены ряд крупных тектонических разломов, по которым, наиболее вероятно, происходит поступление загрязненных тритием подземных вод в воды реки из мест проведения подземных ядерных взрывов (ПЯВ). При этом данные тектонические разломы скрыты под чехлом рыхлых отложений, арасположение обводненных зон, неоднородностей в скальном фундаменте и другие параметры не известны. В связи с чем, для получения детальной картины геологической обстановки на данном участке проводились геофизические и буровые работы. Следующим этапом работ являлось определение гидрогеологических параметров в пробуренных скважинах. Для этого проводились опытно-фильтрационные работы с последующим отбором проб воды на химический и радионуклидный анализы [3].

2. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ**2.1. Уточнение геолого-гидрогеологических условий**

Участок № 1. По результатам геофизических исследований с учетом данных 2009–2010 гг. проведен выбор мест заложения двух режимных скважин (51Р глубиной 55 м, 52Р глубиной 72 м) и двух картировочных скважин 53К и 54К глубиной 53 м и 25 м соответственно.

Скважина 51Р вскрыла сверху вниз в интервале 0–1,5 м супесь, песок мелко- и среднезернистый, в интервале 1,5–6 м – песок средне- и крупнозернистый с щебнем, в интервале 6–26 м – глина коричневая, зеленоватая, плотная. Кровля коренных пород

– туфа трещиноватого залегает на глубине 26 м. Уровень подземных вод установился на глубине 5,0 м. По результатам пробной откачки дебит скважины составил 182,3 м³/сут, удельный дебит – 48 м³/сут, коэффициент фильтрации – 1,3 м/сут.

В скважине 52Р в интервале 0–1 м вскрыта супесь с мелким щебнем, в интервале 1–65 м – глина пестроцветная (белая, зеленоватая, коричневая, переслаивающаяся). Кровля коренных пород – песчаника трещиноватого залегает на глубине 65 м. В интервале 0–65 м скважина обсажена. Уровень подземных вод установился на глубине 3,5 м, величина напора достигает 62 м. По результатам пробной откачки дебит скважины составил 12,4 м³/сут, удельный дебит – 0,58 м³/сут, коэффициент фильтрации 0,03 м/сут.

Скважина 53К в интервале 0 – 5 м вскрыла песок мелкозернистый с мелким гравием, в интервале 5–45 м – глину коричневую, в интервале 45–61,0 м – алевриты. Уровень подземных вод установился на глубине 7 м.

Скважиной 54К в интервале 0–4 м вскрыт песок с щебнем, в интервале 4–20 м – глина зеленоватая, плотная. Кровля коренных пород (песчаник) залегает на глубине 20 м. Уровень подземных вод установился на глубине 1,9 м.

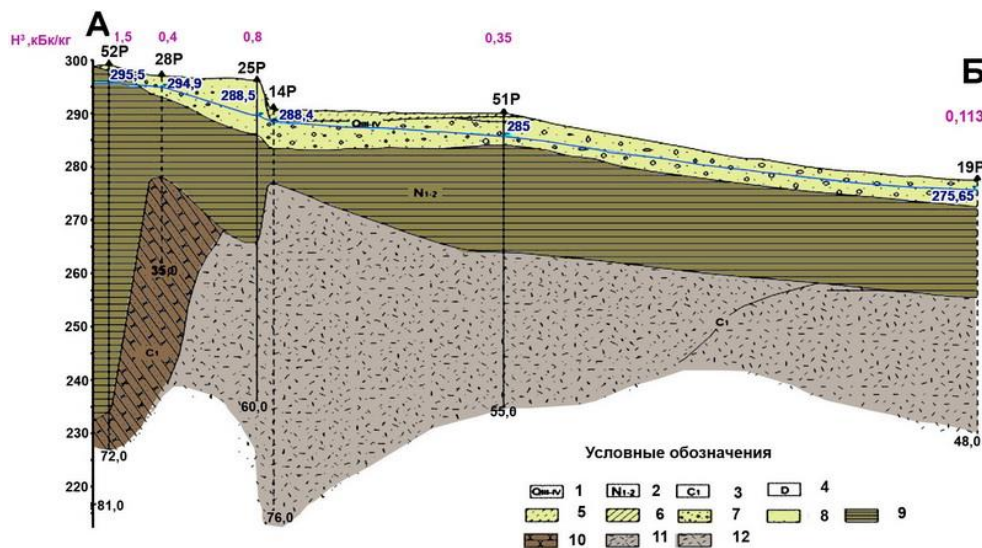
Для построения разреза по линии А–Б (рисунок 1) наряду со скважинами 51Р и 52Р были использованы данные по ранее пробуренным скважинам 19Р, 14Р, 25Р и 28Р [2]. Профиль проходит вдоль левого берега р. Шаган. Верхний слой разреза сложен современными и верхнечетвертичными отложениями, представленными преимущественно песком с гравием.

ем. В скважинах 14Р и 51Р в интервале 0–2 м распространена супесь пылеватая. Ниже по разрезу залегают глины неогена мощностью от 25 до 60 м. Кровля коренных пород вскрыта на глубине от 30 до 65 м.

Наибольшее углубление палеорельефа зафиксировано в южной части профиля и приурочено к северной границе Жананской зоны смятия. В скважинах 52Р и 28Р вскрыт песчаник буконьской свиты среднего карбона. В остальных скважинах – вулканогенно-осадочная толща кокпектинской свиты нижнего карбона, представленная туфами. Глубина залегания уровня подземных вод вдоль линии разреза изменяется от 1,8 м (не читается с разреза) до 7,5 м.

Геологический разрез по линии А–В (рисунок 2) проходит вдоль простирания северной ветви северной границы Жананской зоны смятия, вкост русла р. Шаган. Для построения разреза использованы данные по ранее пробуренной гидрогеологической скважине 29Р [5].

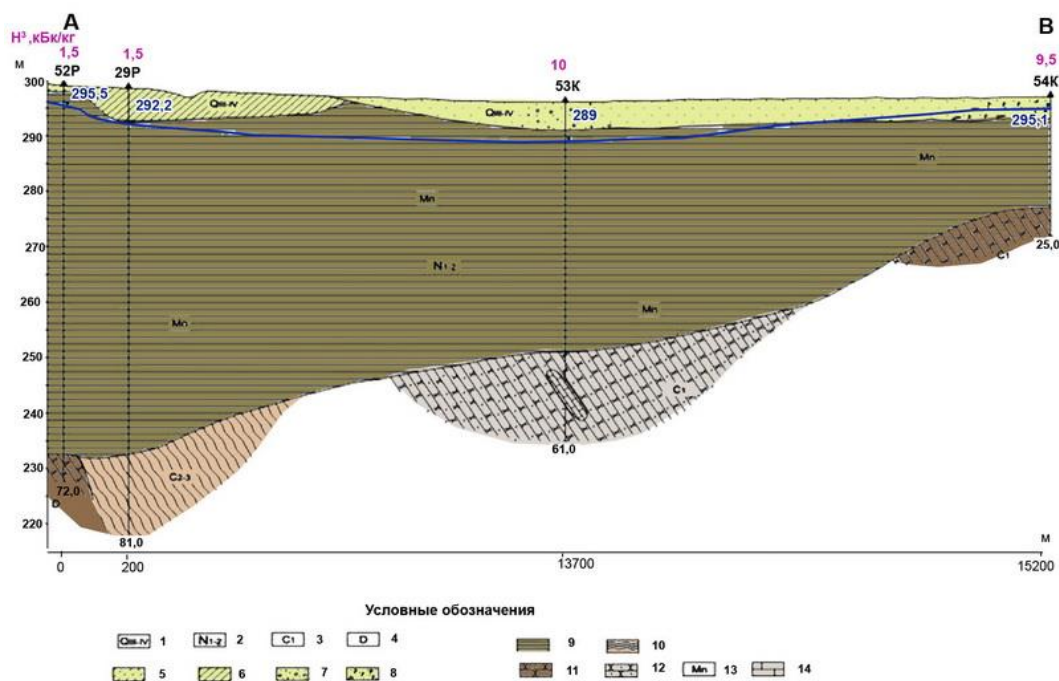
В долине р. Шаган с поверхности распространены современные отложения (супесь, суглинок). Восточнее правого борта долины преимущественное развитие получают верхнечетвертичные аллювиально-пролювиальные отложения, представленные песком с примесью гравийно-щебнистого материала. Ниже по разрезу залегают глины неогена, мощность которых в юго-восточном направлении уменьшается от 64 м (скв. 52Р) до 16 м (скв. 54К). Коренные породы представлены преимущественно осадочными отложениями буконьской свиты среднего карбона – песчаниками, алевритами.



Масштаб горизонтальный 1:50000; вертикальный 1:500

1 - верхнечетвертичные отложения; 2 - неогеновые отложения; 3 - каменноугольные отложения; 4 - девонские отложения; 5 - супесь; 6 - суглинок; 7 - песок с гравием; 8 - песок мелкозернистый; 9 - глина; 10 - песчаник; 11 - туф; 12 - базальтовый порфирит

Рисунок 1 – Участок бассейна реки Шаган. Геологический разрез по линии А–Б



Масштаб горизонтальный 1:25000; вертикальный 1:500

1 - верхнечетвертичные отложения; 2 - неогеновые отложения; 3 - каменноугольные отложения; 4 - девонские отложения; 5 - супесь; 6 - суглинок; 7 - песок с гравием; 8 - песок со щебнем; 9 - глина; 10 - углистый сланец; 11 - песчаник; 12 - алевролит; 13 - омарганцевание; 14 - известняк

Рисунок 2 – Участок района Жананской депрессии. Геологический разрез по линии А–В

Основная разгрузка подземного потока осуществляется по направлению к долине р. Шаган. Абсолютные отметки закономерно уменьшаются от левого борта долины от 296 м (скв. 52Р) и правого борта от 293 м (скв. 54К) до 288 м (скв. 53К). Подземные воды напорные, в пределах левого борта долины напор составляет 62 м, юго-восточном направлении уменьшается до 18 м.

Участок №2. Для изучения трещинных вод на участке №2 выбраны места и пробурены 2 режимные скважины: 58Р, 59Р и 1 картировочная скважина – 60К. Для изучения поровых вод пробурено 20 шнековых скважин. Схема расположения скважин представлена на рисунке 3.

Скважина 58Р вскрыла в верхней части разреза до 2,0 м суглинки с примесью гравия, в интервале от 2,0 до 22,0 м – глины от серо-зеленого до коричневого цвета, ниже, от 22,0 до 28,5 м – песчаник среднезернистый. Далее по разрезу встречен углистый сланец и песчаник. Уровень подземных вод установился на глубине 2,8 м.

Скважиной 59Р с поверхности вскрыт песок среднезернистый, залегающий до глубины 4,0 м, который перекрывает глины коричневого цвета, далее по разрезу наблюдается дресвяно-щебенистая кора выветривания, развитая до глубины 25,5 м, ниже которой, до глубины 33,5 м, залегает мелкозернистый песчаник, далее до 40,6 м – туф серого цвета. Уровень подземных вод находится на глубине 3,6 м. По

данным пробуренных скважин построен геологический разрез (рисунок 4).

Для изучения поровых вод на участке пробурено 20 шнековых скважин. Из 20 пробуренных скважин только 7 вскрыли поровые воды. Уровень подземных вод в скважинах изменяется от 2 до 7 м.

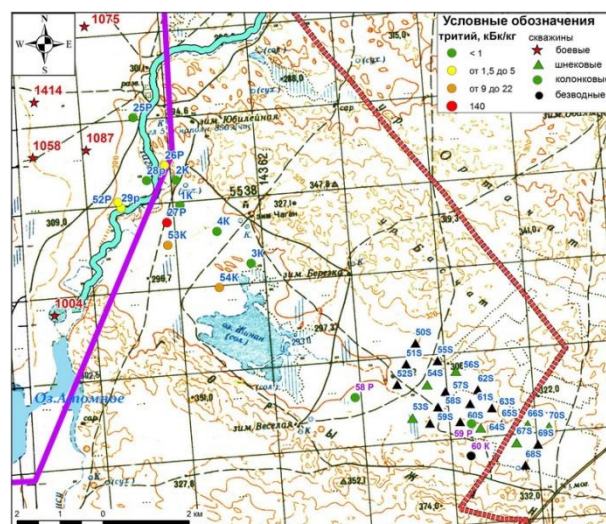


Рисунок 3 – Схема расположения скважин на правом берегу реки Чаган

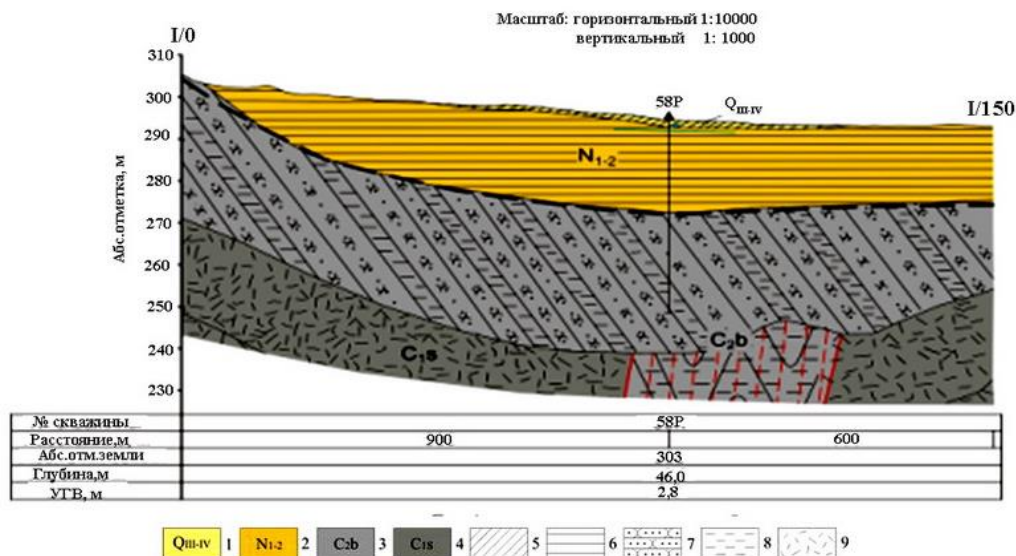


Рисунок 4 – Геологический разрез по линии I/0 – I/150 участка Жананской депрессии

2.2. Радионуклидное загрязнение подземных вод на участке разгрузки

В таблице 1 представлены результаты лабораторных анализов проб воды по определению радионуклидного состава, отобранных из пробуренных гидрогеологических скважин в разные годы [3, 5].

Таблица 1 – Участок Шаган.
Общие данные по скважинам

№ скв.	Год отбора	Глубина скв., м	УГВ, м	^3H , кБк/кг
25P	2009	60	7,5	0,8
26P	2009	30	0,8	2,5
27P	2009	48	2,5	140
28P	2010	35	2,1	0,45
29P	2010	81	6,3	1,5
1K	2010	65	2,9	0,15
2K	2010	30	3,7	0,05
3K	2010	31	1	0,13
4K	2010	30	-	0,025
51P	2011	55	5,0	0,35
52P	2011	72	3,5	1,5
53K	2011	61	25,0	10
54K	2011	7	1,9	9,5
53S	2012	3,6	2,0	0,008
54S	2012	5,4	2,0	<0,011
56S	2012	12,6	6,0	<0,011
64S	2012	7,2	3,0	<0,011
66S	2012	12,6	7,0	<0,011
67S	2012	7,2	3,0	<0,011
70S	2012	5,4	2,0	<0,011
58P	2012	46	2,8	<0,011
59P	2012	40,6	3,6	0,05

Полученные данные об уровне содержания ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ в воде показали, что значения концентрации данных радионуклидов находятся ниже предела обнаружения используемых методик и аппаратуры и составляют по ^{137}Cs <0,01 Бк/кг, ^{90}Sr <0,01 Бк/кг, по $^{239+240}\text{Pu}$ <0,002 Бк/кг. Содержание

третия в подземных водах изменяется в широком диапазоне значений от 0,05 до 140 кБк/кг.

На рисунках 5а и 5б показано площадное распространения трития в подземных трещинных водах на участке №1.

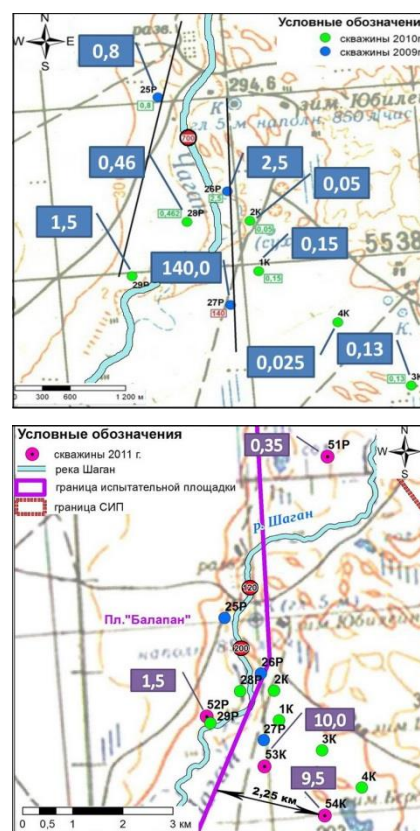


Рисунок 5 – Содержание трития (кБк/кг) в подземных водах в пробуренных скважинах: а – в 2009-2010 гг.; б – в 2011 г.

На участке №2 из всех пробуренных скважин, только в шнековой скважине 53S и колонковой скважине 59P получены количественные значения 80 и 50 Бк/кг, соответственно. В остальных скважинах значения не превышали МДА, равной 11 Бк/кг.

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТ

При анализе характера распространения трития в различных типах вод следует учитывать следующие особенности геолого-гидрогеологических условий изучаемого участка. Зона разгрузки загрязненных подземных вод начинается на участке выхода р. Шаган за пределы «Атомного» озера и прослеживается вниз по течению на расстояние примерно 12 км. Поступление трития в воды реки происходит с левого берега. Источником трития являются центральные зоны подземных ядерных взрывов, проведенные в «боевых» скважинах на испытательной площадке «Балапан». Участок зоны разгрузки характеризуется сложным геологическим строением. Он приурочен к Жананской зоне смятия, выполненной осадочными породами буконовской свиты среднего карбона. Граница между разновозрастными структурами тектоническая, сопровождается серией оперяющихся дизъюнктивов 3-го и более высокого рангов (рисунок 6).

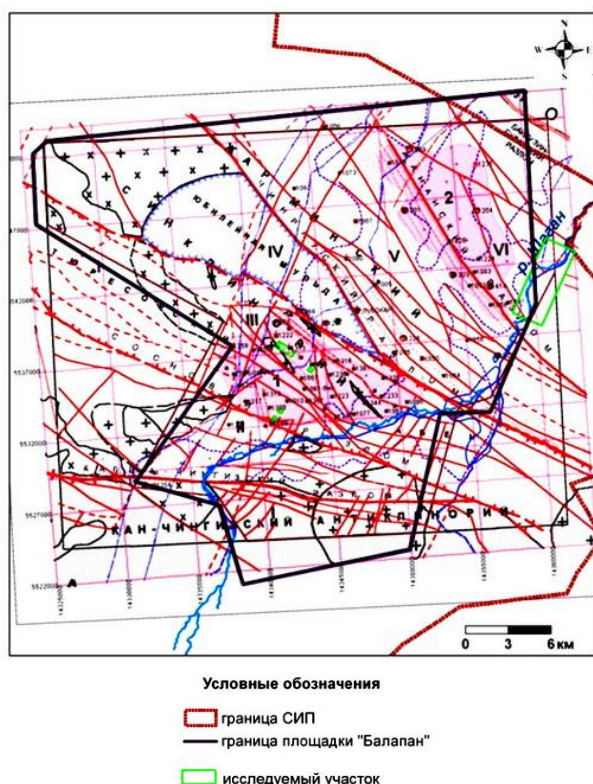


Рисунок 6 – Тектоническая схема площадки «Балапан»

Возможно, что миграция трития происходит не только в соответствии с основным направлением движения подземных вод на северо-восток, но и может быть сопряжена с разгрузкой трещинно-жиль-

ных вод вдоль зон повышенной трещиноватости, сопровождающих дизъюнктивы разного ранга.

Напомним, что в пределах участка работ имеют место два водоносных горизонта с различными типами подземных вод – поровыми и трещинными, часто связанных между собой. К первому комплексу относятся воды, залегающие в локальных гидрогеологических бассейнах. Вмещающие породы представлены, рыхлыми образованиями от неогенового до современного возраста. Второй комплекс входит в состав региональной гидрогеологической системы. К нему относятся трещинные воды палеозойского фундамента, воды мезозойской коры выветривания и воды палеогеновых отложений. Обычно они образуют единый водоносный горизонт мощностью до 150 м.

Среди поровых вод в пределах участка работ распространены в основном грунтовые воды верхне-четвертичных-современных аллювиально-пролювиальных отложений, распространены в левобережье р. Шаган. Воды безнапорные, залегают на глубинах до 5 м. По составу воды преимущественно сульфатно-хлоридные, реже хлоридные [6].

По результатам анализа полученных данных отмечены следующие особенности характера распространения трития в подземных и поверхностных водах реки на участке разгрузки.

Левый берег (трещинные воды). С 2009 по 2011 гг. для изучения состояния трещинных вод на левом берегу пробурено 6 колонковых скважин глубиной от 48 до 76 м (таблица 1). По данным лабораторных анализов концентрация трития в пробах подземных вод, расположенных в пределах Жананской зоны смятия, изменяется от 0,35 кБк/кг (скв. 51P) до 1,5 кБк/кг (скв. 52P). По скважинам, пройденным в пределах развития вулканогенно-осадочных пород кокпектинской свиты нижнего карбона, содержание трития в подземных водах не превышает 0,8 кБк/кг (скв. 25P). При удалении от северо-восточной границы зоны смятия, содержание трития в трещинных водах несколько снижается. В скважинах 51P и 19P, пробуренных в 3,5 км и 11 км, концентрация трития снизилась до 0,11 кБк/кг (скважина 19P). Судя по тому, что максимальные значения концентрации трития в поверхностных водах реки гораздо больше значений полученных по результатам опробования трещинных вод, становится очевидным то, что основная трещинно-жильная структура расположена между скважинами 25P и 28P, расстояние между которыми 1,5 км. При этом, скорее всего, на изучаемом участке имеют место еще ряд подобных пока не выявленных структур.

По результатам буровых и геофизических работ уточнен рельеф кровли водоносного горизонта (рисунок 7).

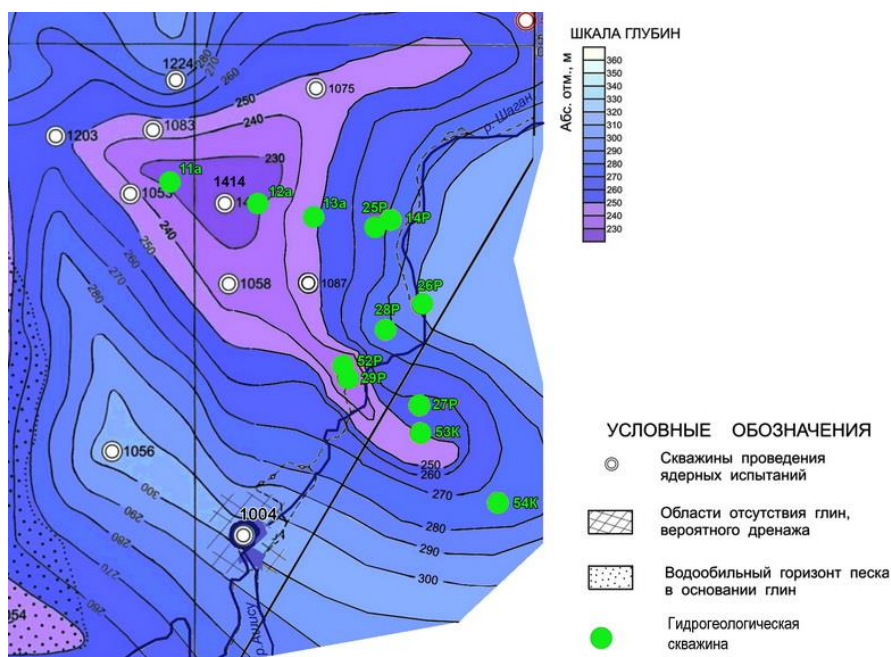


Рисунок 7 – Карта изогипс кровли водоносного горизонта

Полученные данные дают основание предполагать, что одним из основных источников поступления загрязненных тритием подземных трещинных вод могут являться блоки пород, вмещающие центральные зоны «боевых» скважин 1087, 1058, 1414, 1053, 1083 и 1075. Участок расположения данных скважин находится в пределах впадины в скальном фундаменте, перекрытом неогеновыми глинами мощностью до 70 м. В результате чего подземные вод, распространенные в пределах данной впадины имеют напорный характер. В свою очередь, напорный характер обуславливает упругие запасы подземных вод, что создает благоприятные условия для активного обводнения центральных зон ПЯВ и вымыванию техногенных радионуклидов в водоносный горизонт. По данным [7] распространения радионуклидов в пределах впадины имеет следующий характер. Так, в скважине 12а, пробуренной в 200 м от «боевой» скважины 1414 концентрация в подземных водах ^3H превышала 3000 кБк/кг, ^{90}Sr 120 Бк/кг. В скважине 13а, пробуренной в 2 км от скважины 1414, содержание трития упало до 20 кБк/кг, а ^{90}Sr до 32 Бк/кг. В то же время, в скважине 11а пробуренной в пределах впадины на расстоянии 500 м от «боевых» скважин 1083 и 1053, содержание ^3H составило всего 5 кБк/кг, а ^{90}Sr 0,01 Бк/кг. Кроме наличия крупных тектонических разломов на участке, условия для движения загрязненных подземных вод в сторону реки Шаган создают особенности формы описанной выше впадины. По рисунку 7 видно, как юго-восточное крыло впадины пересекает русла реки и выходит далее на правый берег.

С другой стороны, высоких концентраций трития (соизмеримых с поверхностными водами) в трещин-

ных водах на участке, даже в скважинах 52Р и 29Р (пробуренных в пределах юго-восточного крыла впадины) не обнаружено. Это может говорить о том, что если загрязненные воды и поступают со стороны «боевых» скважин в воды реки, то это явление происходит не сплошным фронтом, а по серии обособленных каналов, приуроченным к зонам тектонических разломов.

Обращают на себя внимание относительно низкие значения минерализации в скважинах 52Р и 29Р (до 5 г/дм³), при том, что в других скважинах исследуемого участка минерализация изменяется от 18 до 24 г/дм³. Максимальное значение (32 г/дм³) обнаружено в скважине 53К, расположенной в 1,5 км от русла. При удалении от русла реки до 3 км в скважине 54К наблюдается снижение общей минерализации до 17 г/дм³. Стоит учитывать, что скважина 53К находится на участке выклинивания восточного крыла Жананской впадины и перехода палеорельефа к более высоким отметкам. В данном случае, существенное повышение минерализации подземных вод может свидетельствовать о замедленном водообмене на данном участке. Скорее всего, это явление связано с подпором встречного потока подземных вод, поступающего с правого берега (с восточной стороны). Это говорит в пользу того, что особенности геологического строения на данном участке не способствуют дальнейшему распространению трития с подземными водами в восточном направлении за границы СИП.

Поровые воды. Поровые воды и верховодка в пределах участка работ имеют спорадическое распространение и к настоящему времени слабо изучены. Основным фактором загрязнения тритием поро-

вых вод является наличие «эрозионных» окон. Это, как правило, локальные участки в блоках горных пород характеризующиеся отсутствием неогеновых глин, где загрязненные тритием подземные трещинные воды регионального бассейна поступают в поровые воды.

Для обследования характера распространения трития в поровых водах, в 2011–2012 гг. на участке пробурено несколько шнековых скважин [3, 7]. При анализе данных лабораторных анализов по определению содержания трития в поровых водах выделяются три характерных участка.

Участок от «Атомного» озера до 2,3 км. На данном участке глинистые отложения распространены неравномерно. В характере распространения трития в поровых водах здесь наблюдаются резкие снижения и повышения значений его концентраций, изменяющихся от 30 до 3 кБк/кг. Скачкообразные изменения значений в поровых водах, вероятно, связаны с фрагментарным появлением глинистых отложений на отдельных участках русла реки, которые изолируют поровые воды от загрязненных трещинных вод. Концентрация трития в поверхностных водах реки на этом участке изменяется от 4 до 10 кБк/кг. Т.е. значения концентраций в поровых и поверхностных водах находится на примерно одном уровне, что свидетельствует о тесной взаимосвязи данных типов вод на этом участке.

Участок русла реки на расстоянии от 2,3 км до 4,6 км от «Атомного» озера приурочен к Жананской зоне смятия. Отложения русла реки подстилаются глинами неогена мощностью до 70 м. На данном участке глины полностью изолируют поровые воды от трещинных вод. На этом участке зафиксированы относительно низкие значения концентрации трития (в пределах 1 кБк/кг) в поровых водах. Примерно такие же значения определены на этом участке для трещинных вод. При этом концентрация трития в поверхностных водах реки осталась на том же уровне в районе 15 кБк/кг. Т.е. на данном участке концентрация трития в поверхностных водах на порядок выше, чем в поровых и трещинных водах. По всей видимости, на этом отрезке русла в поверхностные воды реки поступления загрязненных трещинных вод вообще не происходит, по руслу реки текут воды, загрязнение которых произошло выше по течению на предыдущем интервале.

На расстоянии от 4,6 до 7,7 км от «Атомного» озера выделяется участок, в пределах которого установлены максимально высокие концентрации трития в поровых водах до 300 кБк/кг. Содержание трития в поверхностных водах здесь несколько повысилось, но в целом, сохранилось на примерно том же уровне в районе 20 кБк/кг. При этом были отмечены два пика максимальных значений. Первый на 5 км – до 200 кБк/кг и второй на отметке 6,2 км – до 120 кБк/кг. На данном участке среди горных пород, слагающих русло реки, глинистые отложения рас-

пространены неравномерно. В результате чего загрязненные трещинные воды разгружаются либо в аллювиальные воды, либо непосредственно в поверхностные воды реки. При этом, судя по пикам максимальных значений концентрации трития в поверхностных водах, на данном участке имеют место обособленные каналы трещинно-жилых вод с более высокими значениями концентраций трития.

«Боевая» скважина 1004. Анализ данных по характеру распространения трития в поверхностных, поровых и трещинных водах дает основание предполагать, что основным источником трития в водах реки Шаган могут являться горные породы, вмещающие зоны необратимых деформаций ПЯВ проведенного в «боевой» скважине 1004 («Атомное» озеро, внутреннее водохранилище). Характер радиоактивного источника в данном случае может выглядеть следующим образом (рисунок 8).

В целом, «Атомное» озеро, включая воронку взрыва и внешнее водохранилище – это гидротехническое сооружение, заполненное водой [8]. В связи с чем, уровень воды в водохранилище выше, чем уровень дневной поверхности окружающей местности. Этот фактор способствует тому, что часть поверхностных вод фильтруется через радиоактивные горные породы отвала воронки и поступает в горизонт поровых вод. При этом происходит вымывания трития из пород навала воронки и поступление его поровые воды аллювиально-пролювиальных отложений. Не исключено, что в данной системе фильтрации могут иметь место несколько каналов движения поровых вод с разными уровнями загрязнения тритием.

Правый берег. Для изучения трещинных вод на правом берегу пробурено 8 колонковых скважин глубиной от 25 до 64 м. По данным лабораторных анализов концентрация трития в пробах подземных вод, отобранных из скважин расположенных в пределах Жананской зоны смятия, изменяется от 0,025 кБк/кг (скв. 4К) до 140 кБк/кг (скв. 27Р).

Данные по скважине 54К показали, что за границами площадки «Балапан» на расстоянии 2 км концентрация трития в трещинных водах остается еще достаточно высокой и достигает 10 кБк/кг. Наличие трития в подземных водах на правом берегу реки, скорее всего, связано с поступлением загрязненных вод с левого берега. В пользу этого утверждения свидетельствуют следующие аргументы. Значения абсолютных отметок уровня подземных вод в скважинах расположенных на левом берегу выше, чем в правобережных скважинах (рисунок 2). Так, в скважине 52Р, находящейся на левом берегу, уровень подземных вод на 6,5 м выше, чем в скважине 53К и на 0,4 м выше, чем в скважине 54К. Данное положение вещей, при наличии тектонических разломов, может способствовать миграции загрязненных тритием трещинных вод под слоем глин на правый берег реки.

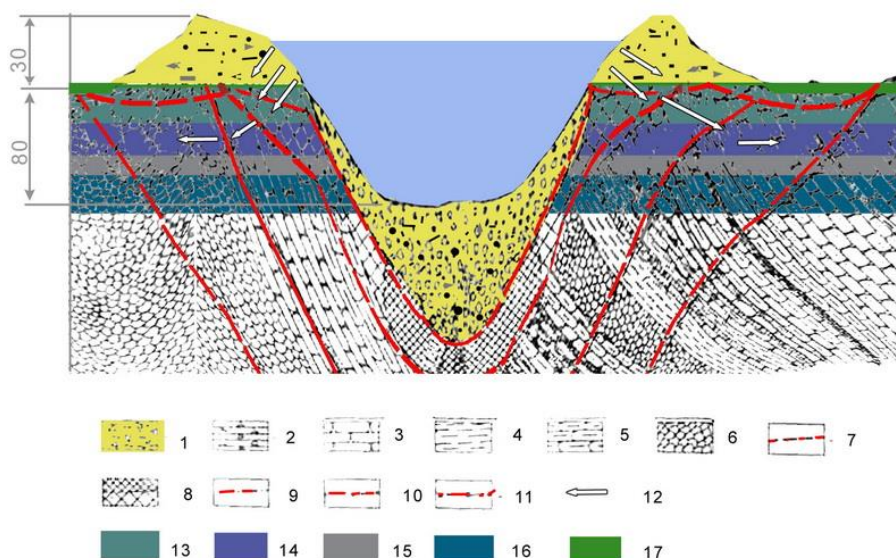


Рисунок 8 – «Боевая» скважина 1004 («Атомное» озеро, воронка взрыва)

ВЫВОДЫ

Анализ данных по характеру распространения трития в поверхностных, поровых и трещинных водах дает основание предполагать, что основным источником трития в водах реки Шаган являются горные породы, вмещающие зоны необратимых деформаций ПЯВ проведенного в «боевой» скважине 1004 (воронка взрыва заполнена водой).

Основным источником трития так же могут являться центральные зоны ПЯВ, проведенных в «боевых» скважинах 1087, 1058, 1414, 1053, 1083 и 1075. Одним из возможных факторов, обуславливающим движениетрещинных вод от «боевых» скважин в сторону реки, являются особенности форм палеорельефа, контролирующие условия распространения радиоактивно загрязненных подземных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Субботин С.Б. Радиоактивное загрязнение техногенными радионуклидами компонентов экосистемы реки Шаган /С.Б. Субботин, С.Н. Лукашенко, А.О. Айдарханов // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2010. – №3 (14). – С.106-115.
2. Айдарханов А.О. Состояние экосистемы р. Шаган и основные механизмы его формирования / А.О.Айдарханов, С.Н. Лукашенко, С.Б. Субботин // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007 – 2009гг.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Вып. 2. – Павлодар: Дом печати, 2010. – С. 9-54. - ISBN 978-601-7112-28-8.
3. Республиканская Бюджетная программа 038 «Обеспечение радиационной безопасности на территории Республики Казахстан : отчет о РБП 038 (информационный) по договору № 1/3 09.02.2011 /ИРБЭ НЯЦ РК; рук. Лукашенко С.Н. – Курчатов: ИРБЭ НЯЦ РК, 2011. – 165 с.
4. Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности»: утв. Постановлением Правительства Республики Казахстан от 3 февраля 2012 года № 201.

5. Республиканская Бюджетная программа 005 «Обеспечение радиационной безопасности на территории Республики Казахстан: отчет о РБП 005 (информационный) по договору № 2/3 20.02.2012 / ИРБЭ НЯЦ РК; рук. Лукашенко С.Н. – Курчатов: ИРБЭ НЯЦ РК, 2012. – 208 с.
6. Инженерно-геологические условия объекта 905 МО СССР: отчет о результатах инженерно-геологической съемки масштаба 1:200000 / кол. авт. Бардина И.Ю., Ветрова С.И. и др. – Москва, 1976.
7. Субботин С.Б. Выявление путей миграции техногенных радионуклидов за пределы испытательной площадки «Балапан» / С.Б. Субботин, С.Н. Лукашенко, В.В. Романенко // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2010 г.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Т.2. – Вып. 3. – Павлодар: Дом печати, 2011. – С. 161–232.
8. Атомные взрывы в мирных целях. Сборник статей под редакцией И.Д. Морохова / Атомиздат, Москва, 1970.

ШАҒАН ӨЗЕНІ СУЛАРЫНЫҢ ТЕХНОГЕНДІ РАДИОНУКЛИДТЕРМЕН ЛАСТАНУ МЕХАНИЗМІ МЕН ЖОЛДАРЫН ЗЕРТТЕУ (2011–2012 ЖЖ. НӘТИЖЕЛЕРІ БОЙЫНША)

¹⁾Субботин С.Б., ¹⁾Романенко В.В., ¹⁾Новикова Е.А., ²⁾Бахтин Л.В.

¹⁾ ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан

²⁾ ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Мақалада, «Балапан» алаңының шекараларынан тыс жерге және өзен суларына тритиймен ластанған жерасты суларының түсумеханизмдері мен жолдарын нақтылау мақсатында Шаған өзені жазығы шегіндегі Жанандық депрессия телімінің зерттеу нәтижелері келтірілді. Орындалған геофизикалық және бұрғылау жұмыстарының нәтижесінде қарастырылып жатқан массивтің блокты құрылысы мен тектоникалық бұзылулардың орын алуы нақтыланды. Бақылау ұңғымаларынан іріктеліп алынған су сынамалары мен тәжірибелік-сүзгілеу жұмыстарының деректері бойынша телімнің гидрогеологиялық жағдайлары және жерасты суларының химиялық құрамы нақтыланды. «Балапан» алаңының шығыс шекарасы бойындағы түрлі – арналы, қуыстық, сызаттық-қатпарлы және сызаттық-желілік сүтүрлерінде радионуклидтердің жылыстауына кеңістік-уақыттық талдама жасалды. Одан кейін де зерттеулер жасау үшін ұсыныстар әзірленді.

PATHWAYS AND MECHANISMS OF SHAGAN RIVER WATER POLLUTION WITH ARTIFICIAL RADIONUCLIDES (2011–2012 RESULTS)

¹⁾S.B. Subbotin, ¹⁾V.V. Romanenko, ¹⁾E.A. Novikova, ²⁾L.V. Bakhtin

¹⁾ Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

²⁾ Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The paper present investigation results on the Zhanan depression within the valley of the Shagan River with a view to clarifying the ways and mechanisms of tritium contaminated groundwater inflow in the water of the river and then beyond the boundaries of “Balapan” site. The geophysical and drilling operations have confirmed the considered solid block structure and the presence of tectonic disturbances. The experimental filtration work and seepage water samples taken from the monitoring wells refined hydro-geological conditions of the site and the chemical composition of groundwater. A space-time analysis of radionuclide migration in different types of water – channel, porous, fractured reservoir and fracture-vein along the eastern boundary of “Balapan” was carried out. Proposals for further research have been developed.

УДК 550.8

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ БЛОКОВ ПЯВ ПО ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ (НА ПРИМЕРЕ БЛОКА СКВАЖИНЫ 1220)

Кабайлов А.Н., Шайторов В.Н.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

На примере одной из скважин СИП показана эффективность использования геофизических показателей для изучения пространственных характеристик поствзрывных техногенных и природных геодинамически активных ослабленных структур. Описана геодинамическая модель, которая может быть использована как для оценки современного состояния очаговой зоны ПЯВ, так и для ее мониторинга.

ВВЕДЕНИЕ

Для оценки и прогнозирования геоэкологической обстановки в местах проведения подземных ядерных взрывов (ПЯВ) одной из актуальных задач является создание достоверных геолого-геофизических и геодинамических моделей блоков геологической среды, подвергнувшихся деструктивному действию ядерных взрывов, включающих природные и техногенные геодинамически активные трещинные структуры. Необходимость разработки подобных комплексных геодинамических моделей определяется очевидной связью между активизацией геодинамических процессов и усилением геоэкологических рисков, связанных с разрушением ядерных полостей, генерацией и выделением горючих газов и миграцией радионуклидов.

Принимая во внимание существующие общенаучные подходы к геодинамическому моделированию геологических сред [1, 2], в основу геодинамических моделей блоков ПЯВ были положены данные по современным геодинамическим зонам [3], определяющим развитие участков повышенной трещиноватости и проницаемости, оказывающие влияние на особенности циркуляции подземных вод, интенсификацию неблагоприятных геологических и экологически опасных техногенных процессов.

Целевым назначением разработки моделей ставилось получение достоверных данных по особенностям пространственного распределения современных природных и техногенных трещинных структур как фактора усиления геоэкологических рисков. Фактурной основой для построения геодинамических моделей блоков ПЯВ являлись сведения по геологическому строению эпицентральной области (геологическая карта участка Балапан М 1:50000), результаты геофизических съемок по изучению поствзрывной структурно-тектонической обстановки в пространстве, прилегающем к очаговой зоне ПЯВ и данные по физико-механическим свойствам пород, вскрытых скважиной. Методические приемы и практические результаты геодинамического моделирования на примере блока ПЯВ в скважине 1220 являются основным предметом рассмотрения в настоящей статье.

Возможность выявления и детального изучения поствзрывных ослабленных структур геофизическими методами определяется отличием их от вмещающей среды по упругим и электрическим свойствам. Как показано в [4, 5, 6], понижение скорости и аномально повышенное рассеяние упругих волн в таких структурах являются физической основой для объемного картирования сейморазведкой в полях рефрагированных и рассеянно-дифрагированных волн, а повышенная электропроводность служит диагностическим признаком их обводненности.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ОСНОВА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ БЛОКА ПЯВ В СКВАЖИНЕ 1220

Подземный ядерный взрыв в скважине 1220 мощностью 190 кТ произведен на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) в гранитных породах на глубине 483 м. Взрыв неполного камуфлета (ВНК) сопровождался соединением зон трещиноватости и откольного разрушения поверхности земли в эпицентральной зоне взрыва и вентиляционным, незначительным, истечением в атмосферу короткоживущих радионуклидов – инертных газов [7].

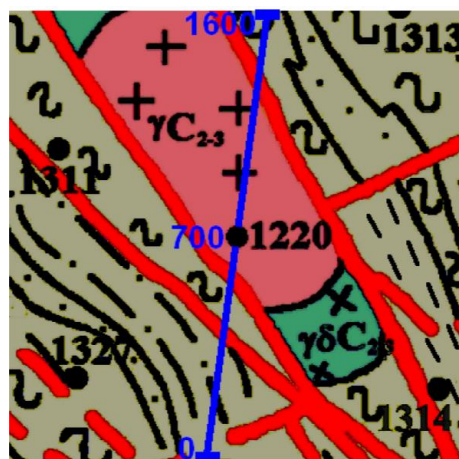
Согласно геологическим данным [8], как показано на рисунке, интрузивный массив, в котором пробурена скважина 1220, имеет форму лакколита, залегающего в рассматриваемом районе, на глубине 40–50 м с размерами в плане порядка 500×2500 м, вытянутого в северо-западном направлении. При этом простирание интрузива практически синформно основным тектоническим структурам участка. Осадочный комплекс пород представлен песчаниками, алевролитами, аргиллитами, в том числе углефицированными. На контакте с интрузивным массивом эти породы метаморфизованы до кристаллических сланцев.

Геофизические съемки проведены с целью уточнения поствзрывной структурно-тектонической обстановки в пространстве, прилегающем к очаговой зоне, с выявлением и объемным картированием природных и техногенных трещинных структур в параметрах упругих (скорости и энергии рассеянных волн) и электрических (продольная проводимость, сопротивление) характеристик разреза. Были выполнены профильные наблюдения сейсмическими ме-

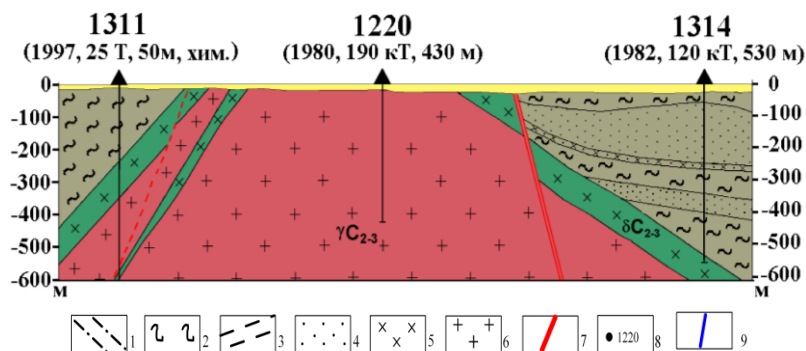
тодами (КМПВ-МРВ и МДРВ) и электроразведкой методом зондирования становления в ближней зоне (ЗСБ) по линии, проложенной через эпицентр ПЯВ (рисунок 1-а).

В сейсморазведочных наблюдениях методами КМПВ-МРВ возбуждение упругих колебаний осуществлялось установкой «падающий груз» с энергией воздействия порядка 12 кДж, прием упругих колебаний – вертикальными сейсмоприемниками типа DF-8 с шагом по профилю 10 м, регистрация – цифровой 48 канальной сейсмостанцией SGD-SEL/48

(Новосибирск, РФ). Обработка полевых данных выполнялась по методике для головных и рефрагированных волн с построением преломляющей границы и графика изменения граничной скорости (V_T) по кровле фундамента и скоростного разреза на глубину порядка 100 м. При этом интервалы разреза с пониженными значениями скорости упругих волн (менее 4.0 км/с) интерпретировались как обусловленные тектонической трещиноватостью фундамента, в данном случае – гранитного массива.



а)



б)

Рисунок 1 – Участок Балапан. Геологическая карта (а) и разрез по данным бурения (б) в районе скважины 1220

Полевые сейсморазведочные наблюдения МДРВ выполнялись приведенными выше техническими средствами. В методическом плане они представляли систему, обеспечивающую многократное (до 2500) прослеживание дифрагированных волн, реализованную в виде четырех 48 канальных расстановок сейсмоприемников с шагом 10 м, удаленных от эпицентра ПЯВ на 160 м. Возбуждение упругих колебаний проводилось по профилям длиной 300 м с шагом 20 м, ортогональным и симметричным линиям наблюдений. Обработка результатов наблюдений, полученных по такой методике, состояла в фокусирующем преобразовании и построении глубинных разрезов по параметру энергии рассеянных (дифрагированных) волн (ЭРВ). Область с максимальными значениями параметра ЭРВ интерпретировалась как зона интенсивной трещиноватости и дробления. Интервалы разреза, для которых ЭРВ составляла промежуточные значения между фоновыми и максимальными, интерпретировались как вызванные повышенной трещиноватостью линейных структур, сопряженных с очаговой зоной.

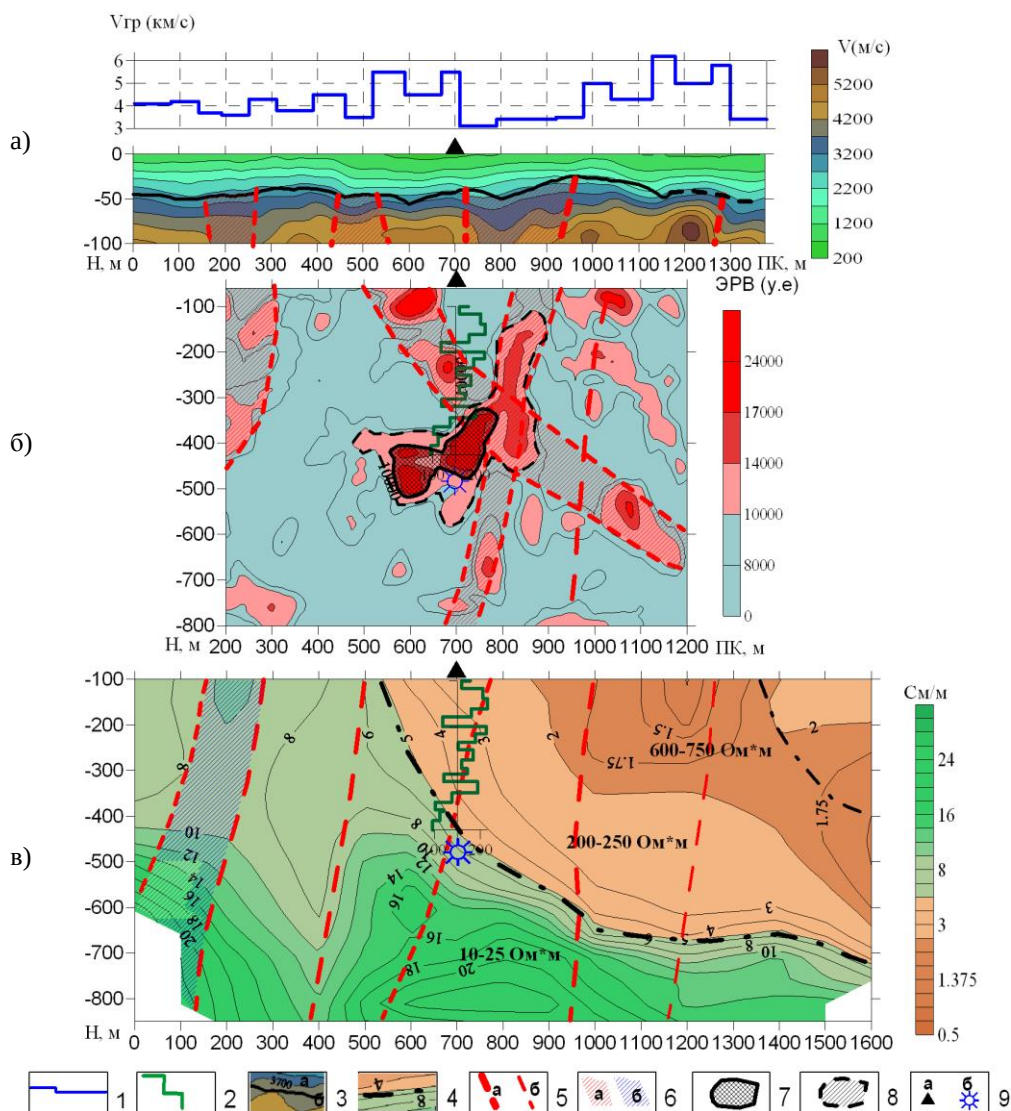
Электроразведочные наблюдения методом ЗСБ проводились с использованием установки «совмещенная петля» с размерами генераторной и приемной петлей 200×200 м. Шаг наблюдений по профилю составлял 200 м с детализацией 100 м. Измере-

ния выполнялись с использованием аппаратуры Цикл-5 (Новосибирск, РФ), отличающейся хорошей помехозащищенностью, высокой чувствительностью и детальностью временного ряда регистрации сигнала. Время регистрации сигнала – 20 мс, что обеспечило необходимую глубинность исследований, порядка 800 м. Обработка и интерпретация данных ЗСБ выполнялась с использованием пакета программ серии «Подбор 4.3» (В.С. Магилатов, СНИИ-ГиМС, г. Новосибирск, РФ). Для уточнения геоэлектрических границ, выделенных в разрезе и определения истинных значений электрического сопротивления вмещающих пород в отдельных опорных точках зондирования, выполнена количественная интерпретация кривых ЗСБ ($Stau$, См/м). В качестве опорных точек выбраны пункты наблюдений, в которых кривые зондирования ($Stau$) были наиболее приемлемы для количественной интерпретации: ПК 700 и 850 в районе основной зоны дробления, выявленной по данным сейсморазведки МДРВ, а также на периферии профиля, в его северной части (ПК 1200) в области, менее подверженной техногенному изменению геологической среды. По данным электроразведки методом ЗСБ построены геоэлектрические разрезы, отражающие структурно-тектоническое строение и обводненность разреза в параметре продольной электрической проводимости.

**МОДЕЛЬ ГЕОДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ
СТРУКТУР БЛОКА ПЯВ В СКВАЖИНЕ 1220
ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ**

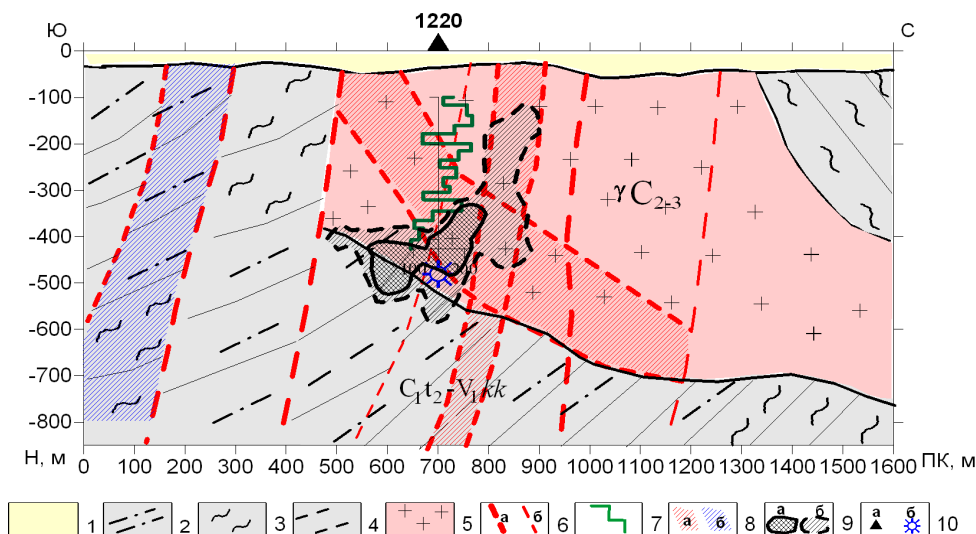
По комплексу геолого-геофизических данных (рисунок 2) пространство, прилегающее к очаговой зоне, имеет блоковую структуру. В радиусе порядка 200 м от эпицентра ПЯВ имеет место обширная техногенная зона трещиноватости, прослеженная по сейсмическим данным (МРВ и МДРВ) от кровли фундамента, вплоть до гипоцентра ПЯВ. Фактически этими данными показано существование зон трещиноватости и откольных явлений в блоке ПЯВ спустя 32 года после взрыва. Наиболее нарушенной

частью блока скважины 1220, как показано на рисунке 2-б, является центральная область с горизонтальной мощностью порядка 200 м, прилегающая к гипоцентру взрыва в интервале глубин 200–550 м, проявленная максимальным рассеянием упругих волн по данным сейсморазведки МДРВ. Практически в этом интервале разреза отмечено, как показано на рисунке 2-б, существенное снижение прочности гранитного массива от 155 до 96 МПа [7], обусловленное увеличением трещиноватости в связи с приближением к нижней границе интрузивного массива, что подтверждает правомочность приведенной выше интерпретации сейсмических данных.



1 – график граничной скорости; 2 – график изменения предела прочности на сжатие; 3 – изолинии скорости (а) и преломляющая граница по кровле фундамента; 4 – изолинии продольной проводимости (а) и геоэлектрическая граница по подошве и кровле гранитного массива; 5 – природные и техногенные тектонические нарушения по геофизическим данным: а – уверенно установленные, б – предполагаемые; 6 – зоны трещиноватости по данным сейсморазведки (а) и обводненной трещиноватости (б) по данным электроразведки; 7, 8 – ослабленные структуры, прилегающие к гипоцентру ПЯВ: 7 – зона интенсивной трещиноватости и дробления; 8 – зона повышенной трещиноватости; 9 – скважина 1220: эпицентр (а) и гипоцентр (б) ПЯВ

Рисунок 2 – Участок Балапан. Поствзрывная структурно-тектоническая обстановка в блоке ПЯВ в скважине 1220 по геофизическим данным в параметрах: а – скорости упругих волн; б – энергии рассеянных волн; в – продольной проводимости



1 – песчано-глинистые отложения осадочного чехла; 2 – алевролиты; 3 – сланцы; 4 – углефицированные породы (сланцы, аргиллиты, алевролиты); 5 – граниты; 6 – природные и техногенные тектонические нарушения по геофизическим данным: а – уверенно установленные, б – предполагаемые; 7 – график изменения предела прочности на сжатие; 8 – природные геодинамически активные структуры: зоны трещиноватости по данным сейсморазведки (а) и обводненной трещиноватости (б) по данным электроразведки; 9 – техногенные геодинамически активные структуры: очаговая зона интенсивной трещиноватости и дробления (а) и сопряженная с ней зона повышенной трещиноватости (б) по данным сейсморазведки МДРВ; 10 – положение боевой скважины 1220 (а) в сечении профиля (Ю-С) и гипоцентр ПЯВ (б).

Рисунок 3 – Участок Балапан. Модель геодинамически активных структур блока ПЯВ в скважине 1220 по комплексу геолого-геофизических данных

По данным электроразведки (рисунок 2-в) изучаемый разрез существенно дифференцирован по электрической проводимости. Основными геоэлектрическими структурами являются высокоомная область в северной половине приведенного сечения (соответствует магматическим породам), и подстилающая её электропроводящая толща в интервале глубин 400–700 м, прослеженная практически на всю глубину зондирования. Такая электропроводящая толща, с учетом общей геологической ситуации, вполне вероятно может быть обусловлена обводненностью осадочных углефицированных пород, подстилающих гранитный массив. Высокая вероятность обводненности этих пород подтверждается наличием крутопадающей электропроводящей зоны мощностью порядка 150 м на южном фланге профиля, прослеженной практически с дневной поверхности и проявленной также в пониженных значениях скорости упругих волн, характерных для трещинных структур, благоприятных для формирования нисходящих фильтрационных потоков из горизонта трещинно-поровых вод.

Характерной особенностью геоэлектрического разреза является подтверждение блокового строения, проявленное резким изменением продольной проводимости по латерали. По этому признаку выявлен ряд тектонических нарушений, которые, в основном, совпадают с аналогичными структурами, установленными сейсморазведкой, в том числе в виде зон трещиноватости. Эти элементы тектонического строения усиливают вероятность обводнения подстилающих осадочных пород.

В целом, по комплексу геофизических данных, гранитный массив в районе скважины 1220 представляется как сильно нарушенный и флюидопроницаемый по ослабленным зонам блок с вертикальной мощностью в области гипоцентра ПЯВ не более 550 м с подстилающими его осадочными, в том числе углефицированными породами.

Основными геодинамически активными структурами блока ПЯВ в скважине 1220 (рисунок 3) являются узел пересечения природных и техногенных крутопадающих и наклонных трещинных структур в пространстве, прилегающем к очаговой зоне, и тектонически ослабленная зона на южном фланге профиля.

Узел пересечения природных и техногенных крутопадающих и наклонных трещинных структур включает очаговую зону дробления и интенсивной трещиноватости и сопряженную с ней зону повышенной трещиноватости. В совокупности они образуют субвертикальную ослабленную структуру, простирающуюся вверх до глубинных отметок порядка 120 - 140 м. Такая повышенная «дальность» деструктивного действия ПЯВ, наиболее вероятно, обусловлена подновлением природной тектонически ослабленной зоны. Очевидно, что в этой субвертикальной структуре, включающей очаговую зону, наиболее вероятны проявления активной геодинамики, связанной с деструктивными процессами в ядерной полости. Тектонически ослабленная зона, выявленная в осадочных породах на южном фланге профиля, имеет горизонтальную мощность порядка 150 м, прослежена геофизическими методами на всю глубину исследования и представлена, видимо,

послойными срывами в сланцево-алевролитовой толще. Обводненная трещиноватость этой зоны свидетельствует не только о наличии области сосредоточенной фильтрации трещинно-поровых вод на глубину, но и позволяет рассматривать ее как потенциально геодинамически активную структуру, сложенную породами с пониженной прочностью вследствие их обводненности.

В целом, на основе вновь полученных представилась возможность сформулировать основные природные и техногенные факторы, обуславливающие возможность негативных изменений геоэкологической обстановки в блоке скважины 1220:

- повышенная природная нарушенность и ограниченные размеры гранитного блока;
- обводненность пород, слагающих осадочный фундамент и его блоковая структура, создающие благоприятные условия для развития деструктивных процессов, следствием которых может быть обводнение ядерной полости и её разрушение;
- повышенная глубинность термодинамического воздействия ПЯВ в этой скважине, усиливающая риск выноса радионуклидов в трещинные воды в случае разрушения ядерной полости;
- наличие в зоне динамического воздействия ПЯВ углефицированных пород, склонных к генерации горючих газов.

Для оценки такой вероятности необходимы мониторинговые наблюдения как геодинамической активности в области, прилегающей к очаговой зоне, так и её проявлений в виде изменения флюидопроницаемости разреза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Королев, В.А. Мониторинг геологической среды: под редакцией В.Т. Трофимова. – М.: Изд-во МГУ. - 1995. – С. 141 - 156.
2. Козырев, А.А. Методика регионального прогноза удароопасности и состояния массива пород по обеспечению безопасности и эффективности горных работ / А.А. Козырев, А.Н. Енютин, В.А. Мальцев, И.Э. Семенова. - Горный институт КНЦ РАН.
3. Горин, В.В. Семипалатинский полигон: хронология подземных ядерных взрывов и их первичные радиационные эффекты (1961 - 1989 гг.) / В.В. Горин, Г.А. Красилов [и др.] //Бюллетень Центра общественной информации по атомной энергии, 1993. - №9/93. Спецвыпуск. - М.: ЦНИИАтоминформ.
4. Беляшова, Н.Н. Изучение влияния ядерных взрывов на окружающие горные породы и морфологию поверхности с целью разработки методов инспекции на местах / Н.Н. Беляшова, Л.А. Русинова, А.В. Беляшов, А.А. Смирнов // Вестник НЯЦ РК, Геофизика и проблемы нераспространения, 2000. – Курчатов: НЯЦ РК. – Вып. 2. – С. 105 – 118.
5. Файзуллин, И. С. Сейсмоакустические методы изучения трещиноватости горных пород / И. С. Файзуллин, И. А. Чиркин //Геоинформатика, 1998 - № 3.
6. Шайторов, В.Н. Картирование водонасыщенных трещинных структур в фундаменте комплексом геофизических методов при геоэкологическом районировании территории проведения ПЯВ // В.Н. Шайторов, В.М. Стромов, А. К. Жолдыбаев, Б.И. Кислый //Вестник НЯЦ РК, 2007. - вып.3., – С 97 - 103.
7. Ляпин, Ф.И. Отчет о бурении структурной скважины 1220 на пл. Б-н. / Ф.И. Ляпин, Е.А. Долгих, Н.Я. Распопов. - Эксп. 113, 1977.
8. Разработка геолого-географических методов «Инспекции на месте» в рамках ДВЗЯИ на примере Семипалатинского испытательного полигона: отчет о НИР (промежуточный) / ДГП ИГИ НЯЦ РК. Авторы: Беляшов А.В [и др.] – Курчатов, 2006. – Фонды КазГосИНТИ, Инв. № 0207РК01006.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты свидетельствуют о высокой информативности привлеченного комплекса геофизических методов для построения модели геодинамически активных трещинных структур, характеризующей их наличие, глубинное распределение и вероятность активизации поствзрывных деструктивных процессов в пространстве, прилегающем к гипоцентру ПЯВ. Комплексирование методов сейсморазведки и электроразведки обеспечивает получение достоверной информации не только о геометрических характеристиках и пространственном положении основных природных и техногенных поствзрывных ослабленных структур, но и существенное уточнение глубинного геологического строения изучаемого разреза.

Установленные аномальные значения показателей упругих и электрических свойств геологической среды в пространстве, прилегающем к гипо- и эпицентрам ПЯВ могут быть использованы в качестве информационной основы для выявления и оценки тенденций поствзрывных геодинамических процессов путем их мониторинга.

Приведенные в настоящей статье данные по моделированию геодинамически активных структур блока ПЯВ в скважине 1220 будут использованы для построения его геоэкологической модели с целью получения исходных данных для проектирования и проведения геолого-геофизического мониторинга опасных природно-техногенных процессов.

**ГЕОЛОГИЯ-ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША ЖЯЖ БЛОКТАРЫ ҮШІН
ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ҚҰРЫЛЫМДАРДЫҢ МОДЕЛЬДЕРІН ЖАСАУ
(№ 1220 ҰҢҒЫМА БЛОГЫНЫҢ ҮЛГІСІНДЕ)**

Кабайлов А.Н., Шайторов В.Н.

Геофизикалық зерттеулер институты РМК, Курчатов, Қазақстан

ССП ұңғымаларының біреуі үлгісінде жарылыстан кейінгі техногендік және табиғи геодинамикалық белсенді әлсіреген құрылымдардың кеңістік сипаттамаларын зерделеу үшін геофизикалық көрсеткіштерін пайдалану тиімділігі көрсетілген. ЖЯЖ ошақтық зонасының қазіргі кездегі күйін бағалау және оның мониторингі үшін пайдалануға болатын геодинамикалық моделі сипатталған.

**MODELLING FOR GEODYNAMIC ACTIVE STRUCTURES OF UNE BLOCKS ACCORDING TO
GEOLOGIC AND GEOPHYSICAL DATA (THE CASE STUDY: BOREHOLE 1220)**

A.N. Kabaylov, V.N. Shaytorov

RSE Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

Effectiveness of use of geophysical indexes in studying of spatial characteristics of post-explosive technogenic and natural active weakened structures is shown. A geodynamic model which can be used both for assessment and monitoring of the current situation in the focal zone is described.

УДК 621.039.9

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ПУТЕЙ МИГРАЦИИ ТРИТИЯ В БАССЕЙН РЕКИ ШАГАН

Комлев А.В., Зеленский К.Л., Кокежанов Б.А., Кириллов А.В.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Представлена статья по работам, выполненным в 2012 году по мероприятию 1 «Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона» в рамках Республиканской бюджетной программы 038 «Обеспечение радиационной безопасности на территории Республики Казахстан». Работы осуществлялись в соответствии с Договором №2 от 17.02.2012 г., заключенным между Министерством индустрии и новых технологий Республики Казахстан (МИНТ РК) и Республиканским государственным предприятием «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» (РГП НЯЦ РК).

ВВЕДЕНИЕ

Изучаемый район Жананской депрессии расположен в юго-восточной части СИП на правом берегу реки Шаган. В тектоническом отношении Жананская зона смятия состоит из нескольких сместителей, имеет северо-западное простирание и ширину – десятки и сотни метров. Плоскость сместителя падает под углом 60°-70° на северо-восток.



Рисунок 1 – Четыре геофизических профиля приурочены к Жананской зоне смятия

ИЗУЧЕННОСТЬ ТЕРРИТОРИИ

На левобережье реки Шаган в северо-западном направлении на удалении до 16 км расположены 5 ближайших скважин, в которых в советское время проведены подземные ядерные взрывы (рисунок 2). Это - боевые скважины 1004 (Атомное озеро), 1075, 1414, 1058, 1087 (таблица 1).

В период с 2009 по 2011 годы Институтом Геофизических Исследований проводилось бурение режимных и картировочных скважин по лево- и правобережью реки Шаган. Все скважины вскрывают зону экзогенной трещиноватости, водовмещающие породы являются слабопроницаемыми. Содержание трития, по данным ИРБиЭ не превышает предела вмешательства (7,7 кБк/л), за пределы нормы выхо-

дят воды с содержанием трития до 22 кБк/л (скважинах 53К и 54К), но максимальное значение трития наблюдается в скважине 27Р (140 кБк/л), расположенной на небольшом удалении от правого берега реки Шаган. Материал карты взят из сводного отчёта ИРБиЭ за 2012 год.

Таблица 1 – Данные по боевым скважинам на площадке Балапан

Номера боевых скважин	Мощность заряда, кт	Глубина заложения заряда, м
1075	150	298
1414	150	489
1058	51	—
1087	102	436
1004	140	175

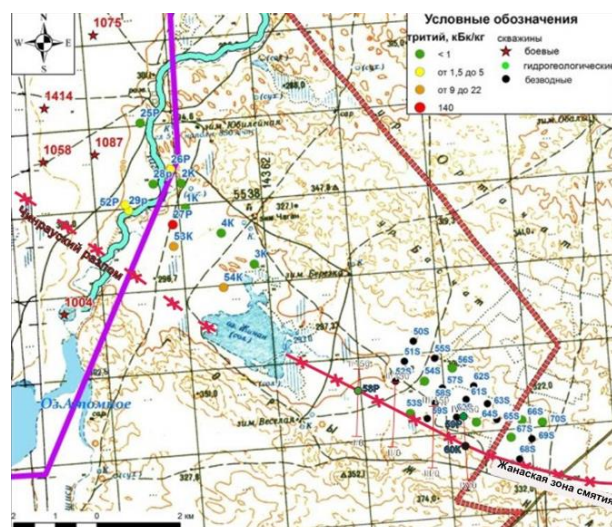


Рисунок 2 – Схема расположения скважин пробуренных в ранние годы

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЪЁМКА

На рисунке 3 приведена геологическая карта, из которой следует, что на изучаемой площади распространены породы каменноугольной системы, нижнего, среднего и верхнего отделов. Породы представлены: конгломератами, гравелитами, андезитами, песчаниками, углисто-кремнистыми сланцами. Распространение рыхлых (в частности супесей и суг-

линков, в некоторых местах выступают на поверхность солончаковые почвы) отложений повсеместно, в основном на пониженных участках территории, мощность их составляет от 1 до 3 метров.

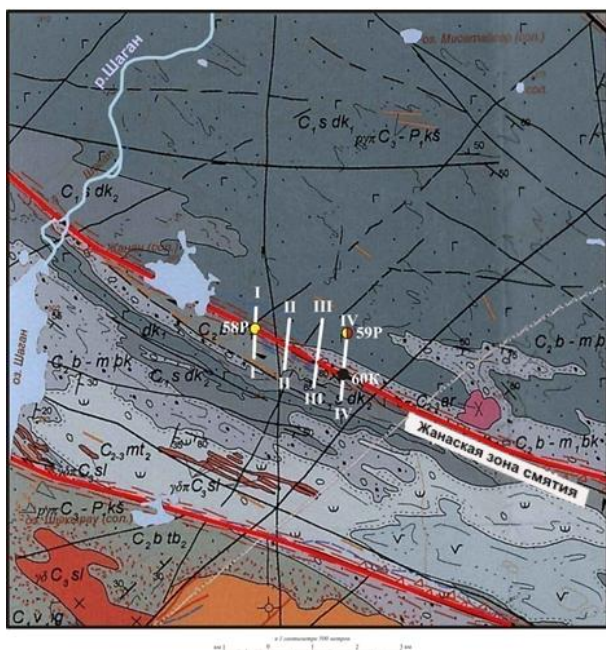


Рисунок 3 – Геологическая карта

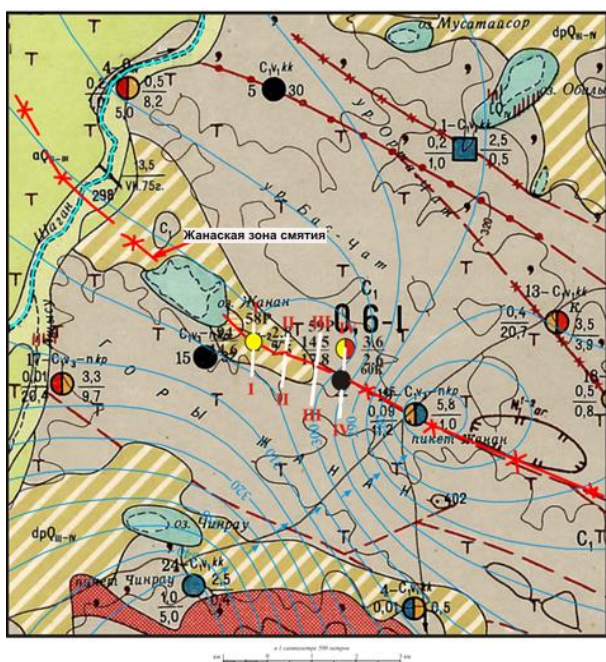


Рисунок 4 – Гидрогеологическая карта

Проведена гидрогеологическая съемка на территории 36 км², построена карта масштаба 1:50000 (рисунок 4) с использованием фондовых материалов (карта составлена в Казахском гидрогеологическом

управлении, автор: Ф.К. Кабиев, А.Н. Рахметкалиев, одобрена 25 декабря 1975 года).

Воды данной территории слабонапорные, по результатам опытно-фильтрационных работ, определено направление движения подземных трещинных вод, осуществляется практически параллельно реке Шаган.

В период с 2009 по 2011 годы Институтом геофизических исследований проведено бурение режимных и картировочных скважин по лево- и правобережью реки Шаган (рисунок 4). Все скважины вскрыли слабопроницаемую зону экзогенной трещиноватости. Содержание трития - в пределах нормы, выше нормы – до 22 кБк/кг содержание трития в скважинах 53К и 54К, максимальное значение трития наблюдается в скважине 27Р (140 кБк/кг), расположенной на правобережье некотором удалении от реки Шаган.

ЗАДАЧИ И МЕТОДИКА РАБОТ

Основные задачи работ:

1. Уточнение мест расположения тектонических нарушений.
2. Исследование зоны депрессии.
3. Гидрогеологическая съемка.
4. Геофизические работы (сейсморазведка методом рефрагированных волн (МРВ); электроразведка методом ЗСБ; георадарная съемка; магниторазведочная съемка).
5. Бурение и исследование скважин.
6. Опытно-фильтрационные работы.

Комплекс геофизических работ

Для уточнения места расположения тектонических нарушений и изучения зон деструкции применялся комплекс геофизических методов, в составе: магниторазведка; георадарная съемка; сейсморазведка методом рефрагированных волн (МРВ); электроразведка методом зондирования методом становления поля в ближней зоне (ЗСБ).

Измерения выполнены по 4 профилям: I - IV, общей длиной 5,5 пог. км (рисунки 1, 4). На рисунках 5 – 8 приведены примеры геофизических полей, измеренных по одному из профилей (профилю 1), пересекающих Жананскую зону смятия.

По величине магнитного поля выделяются отдельные литологические разности, по пониженным значениям – зона повышенной трещиноватости и дробления (рисунок 5).

Георадарная съемка выполнена по 4-м профилям общей протяженностью 6 км. На георадарном разрезе показано, что первая граница отмечается на глубине 8 м и изменяется вдоль профиля до 12 м (рисунок 6). Местами сильная обводненность разреза приводит к резкому затуханию электромагнитных волн и потере их энергии.

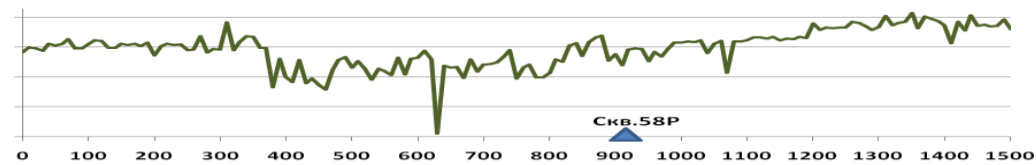


Рисунок 5 – Профиль 1. График модуля магнитной индукции (Т)

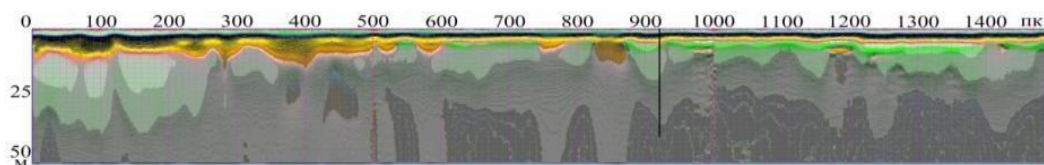


Рисунок 6 – Георадарная съемка

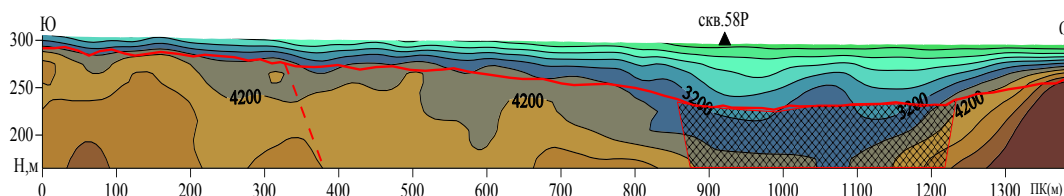


Рисунок 7 – Сейсморазведка

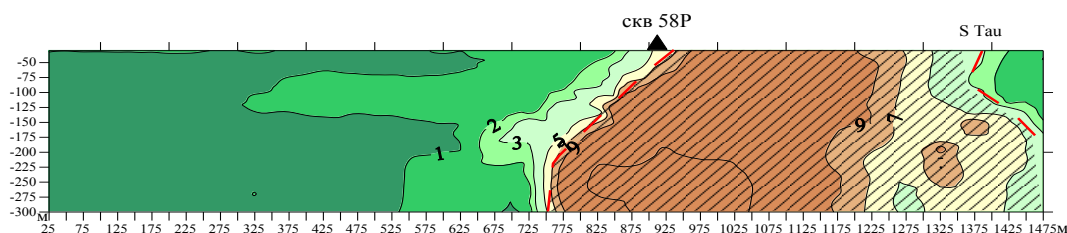


Рисунок 8 – ЗСБ

Сейсморазведка позволила определить мощности рыхлых отложений, их скоростных характеристик, а также глубину залегания скального фундамента, выявление неоднородностей в фундаменте, включая тектонические нарушения (рисунок 7). В разрезе четко проявлена зона, характеризующаяся пониженными значениями скоростей сейсмических волн, которая соответствует зоне повышенной трещиноватости и дробления.

Один из опытов изучения глубинных инженерно-геологических условий, позволяет выявить, как отдельные блоки, так и обводнённые трещинные структуры, характеризующиеся, как правило, повышенной электропроводностью. На изображенном геоэлектрическом разрезе кажущейся электрической проводимости, ярко выражена обводненная зона, располагающаяся между пикетами 750 и 1450 (рисунок 8). Глубинность исследований составила порядка 300 м.

Общей закономерностью всех разрезов является то, что они имеют неоднородное, в основном, блочное строение, определяемое, прежде всего, развитием тектонически ослабленных зон, основной из которых является Жананская зона смятия, проявленная достаточно четко.

Бурение и исследование скважин

Результаты комплекса геофизических исследований позволили определить местоположение наиболее водопроницаемой части Чинрауского разлома (рисунок 9) и для дальнейшего изучения гидрогеологических условий.



Рисунок 9 – Схема расположения гидрогеологических скважин

Были выбраны места и пробурены 2 режимные скважины 58Р (в профиль I, ПК 920), и 59Р (профиль IV, ПК 1500), а также 1 картировочная скважина 60К (профиль IV, ПК 700). Общий объем бурения составил 131,6 м. (таблица 2)

Таблица 2 – Перечень пробуренных скважин

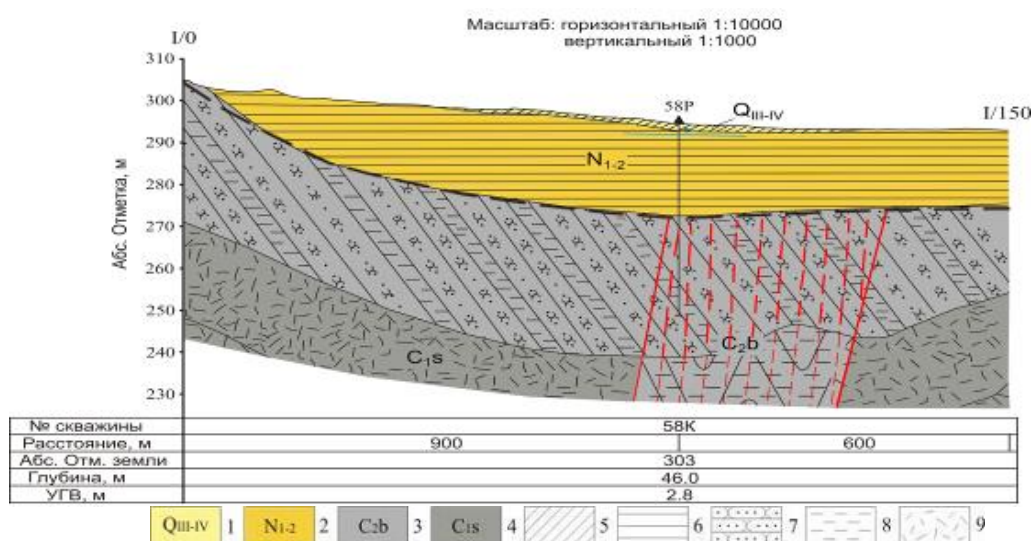
Номера скважин	Уровень воды, м	Абсолютная отметка устья, м	Глубина скважины, м
58Р	2,8	303	46,0
59Р	3,6	308	40,6
60К	-	319	45,0
ИТОГО			131,6

На рисунке 10 приведен пример геологического разреза, построенного по данным буровых работ и комплекса геофизических работ.

Предоставленный геологический разрез, свидетельствует о том, что в целом разрез представляет небольшую синклинальную складку, сложенную переслаиванием песчаников и углистых сланцев, залегающих под чехлом рыхлых и глинистых отложений. Подстилающие породы представлены туфами. Судя по трещиноватости, наблюдаемой по данным бурения, обе литологические разности могут являться коллектором подземных вод.

Тектоническая карта

По четырём геофизическим геолого-геофизическим разрезам построена схема корреляции тектонических нарушений – Жананской зоны смятия и двух оперяющих её разломов (рисунок 11).



1-верхнечетвертичные современные отложения; 2-неогеновые отложения; 3-среднекаменноугольные отложения, башкирский ярус; 4-нижнекаменноугольные отложения, серпуховский ярус; 5-суглинок; 6-глина; 7-песчаник; 8-углистый сланец, 9 – туф

Рисунок 10 – Геологический разрез по профилю I

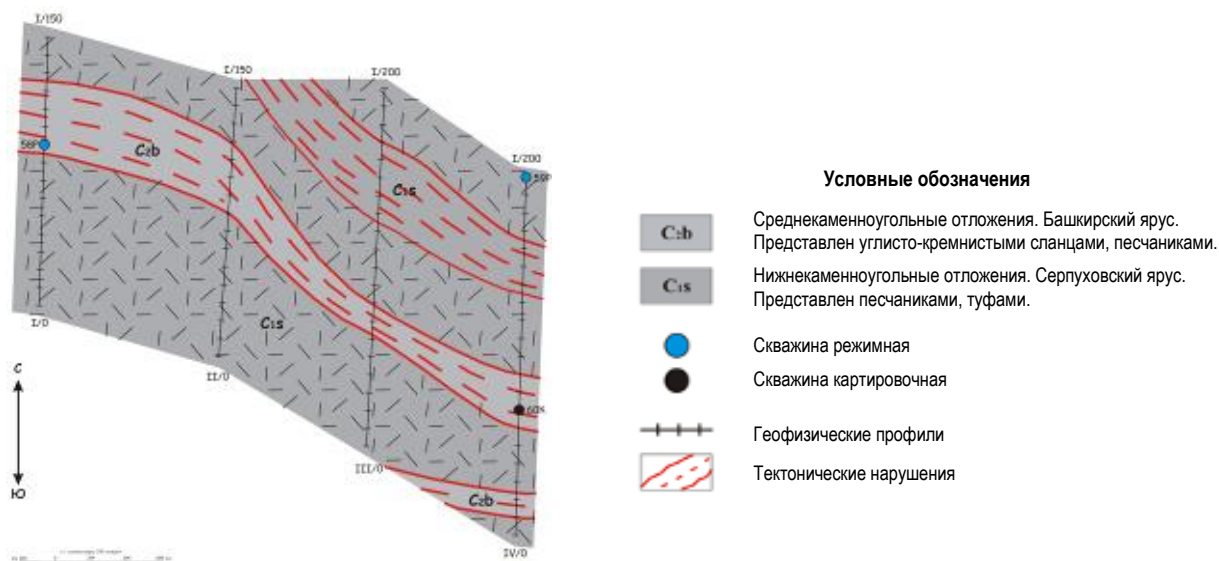


Рисунок 11 – Тектоническая карта района Жананской депрессии

Видно, что все четыре профиля пересекают Чинрауский разлом. Два оперяющих разлома пересекаются не всеми профилями. Породы, представлены среднекаменноугольными и нижнекаменноугольными отложениями: углисто-кремнистые сланцы, песчаники, туфы. Эти породы перекрыты чехлом рыхлых отложений (супеси, суглинки, солончаковые почвы) повсеместно, в основном на пониженных участках территории. Мощность их составляет от 1 до 3 м.

Опытно-фильтрационные работы

В пробуренных скважинах проведены опытно-фильтрационные работы, которыми было установлено:

- 1) подземные воды приурочены к зоне экзогенной трещиноватости;
- 2) водовмещающие породы представлены слабо-трещиноватыми песчаниками переслаивающиеся с углисто-кремнистыми сланцами и туфами каменноугольного периода;
- 3) режим водоносного горизонта слабо напорный;
- 4) вмещающие породы водоносного горизонта слабоводопроницаемые (таблица 3)
- 5) минерализация подземных вод: 58Р – 2,5 г/дм³, 59Р – 2,6 г/дм³ (вода солоноватая).
- 6) содержание трития в подземных водах: 58Р – 9 Бк/кг, 59Р – 50 Бк/кг.

Таблица 3 – Данные опытно-фильтрационных работ

Показатель	Скв. 58Р	Скв. 59Р
Q, м ³ /час	94,003	14,515
q, м ² /сут	9,04	1,40
S, м	14,6	17,8
Кф, м/сут	0,3	0,01

По результатам бурения 3 колонковых скважин на участке Жананской депрессии, в 2 скважинах вскрыты трещинные воды, приуроченные к верхне-четвертичным современным отложениям. В подземных водах, распространенных в пределах границ СИП, на данном участке установлено наличие трития с концентрацией 50 Бк/кг (скважина 59 Р), что значительно ниже допустимого уровня для питьевой воды. В подземных водах за границей СИП на данном участке значения концентраций трития ниже МДА, равной 11 Бк/кг.

Таким образом, наличие миграции трития с подземными водами в юго-восточном направлении по зоне Жананской депрессии, радиационной опасности для прилегающих территорий на данном направлении не представляет.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДАЛЬНЕЙШЕМУ ИЗУЧЕНИЮ

По результатам изучения геолого-геофизической ситуации сделан вывод, что транзит радионуклидов (в частности трития), возможно, осуществляется с западной стороны в противоположную восточную сторону, либо с неисследованной южной стороны,

со стороны между участком Жананской депрессии и Атомным озером (рисунок 12).

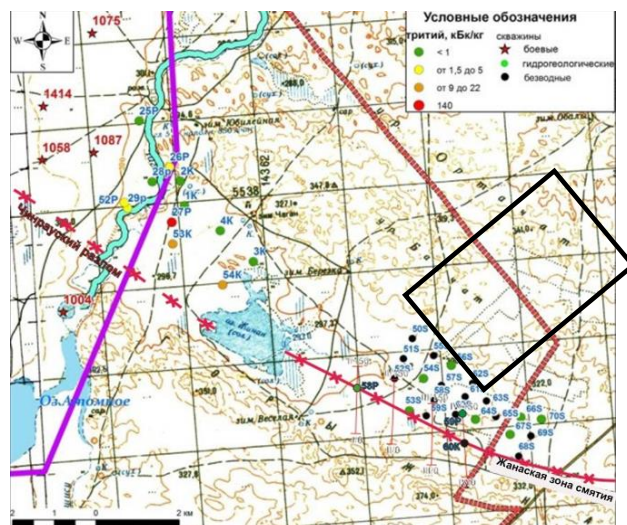


Рисунок 12 – Расположение участка для дальнейшего исследования

По результатам изучения геолого-геофизической ситуации и дешифрирования космоснимков сделано предположение, что транзит радионуклидов (в частности трития), возможно, осуществляется со стороны воронки скважины 1004 в восточную и северо-восточную сторону вдоль линий серии тектонических нарушений северо-восточного простирания (рисунок 13).

Для дальнейшего изучения возможных путей миграции трития и для сравнения гидрогеологических характеристик зон тектонических нарушений, можно рекомендовать изучение водно-коллекторных свойств вмещающих пород трещинных вод, в зоне влияния дизъюнктивных дислокаций и вне их. Провести дополнительные исследования на участке расположенном к северо-востоку от воронки скважины 1004 (рисунок 12), или к северо-западу от нашего участка работ, с обязательным изучением возможности гидравлической связи трещинно-жильных вод и поровых вод четвертичных отложений.



Рисунок 13 – Схема расположения разломов северо-восточного простирания

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате проведенных исследований получены следующие результаты:

1. Определено месторасположение Жананской зоны смятия, которая может влиять на миграцию подземных вод.

2. Реализована методика геофизических исследований, позволяющая обосновать места заложения контрольных скважин на трассе тектонического разлома. Проведенная электроразведка методом ЗСБ не только обеспечила попадание в зоны разломов пробуренных скважин, но и установила их морфологию, изменение геометрических и физических характеристик на глубину, гораздо большую, чем глубина пробуренных скважин. Последнее принципиально важно для изучения роли тектонических разломов в возможном переносе радионуклидного загрязнения.

3. Скважины, пробуренные в зоне Жананской депрессии, оборудованы для режимных наблюдений, данные по ним закреплены как исходные для последующего контроля за подземными водами. Скважины введены в сеть радионуклидного мониторинга.

4. Недостатки исследований:

- недостаточная глубина вскрытия геологического разреза скважинами;
- не изучены воды вне зон тектонических нарушений;
- недостаточное количество точек наблюдения.

5. Продолжение исследований может быть проведено на участке, расположенном к северо-востоку от скважины 1004, и с обязательным изучением возможности гидравлической связи трещинно-жильных вод и поровых вод четвертичных отложений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коновалов, В.Е. Размещение объектов подземных ядерных испытаний на площадке Балапан Семипалатинского испытательного полигона / В.Е. Коновалов, О.В. Грязнов // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2000. – Вып. 2. – С. 101 – 104
2. Беляшов, Д.Н. Окончательный технический отчет по проекту К-056-96 МНТЦ «Моделирование миграции загрязняющих веществ в подземных водах в районе Семипалатинского полигона» / Д.Н. Беляшов // 1999. – 164 с.
3. Республиканская бюджетная программа 005 «Обеспечение радиационной безопасности на территории Республики Казахстан»: отчет по СИП (информацион.) / Инстит. рад. без-сти и эколог. (ИРБиЭ); рук. Лукашенко С.Н. – К., 2012. – Дог. №3 от 20.02.2012 г.

ШАҒАН ӨЗЕННІҢ АЛАБЫНА ТРИТИЙ ЖЫЛЫСТАУДЫҢ БОЛЖАМДЫ ЖОЛДАРЫН ЗЕРДЕЛЕУ

Комлев А.В., Зеленский К.Л., Кокежанов Б.А., Кириллов А.В.

Геофизикалық зерттеулер институты РМК, Курчатов, Қазақстан

038 «Қазақстан Республикасы аумағында радиациялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету» Республикалық бюджеттік бағдарламаның шегінде «Бұрын болған Семей сынау полигонның қауіпсіздігін қамтамасыз ету» 1 іс-шарасы бойынша 2012 жылы орындалған жұмыстар бойынша мақала келтірілген. Жұмыстар, Қазақстан Республикасының Индустрия және жаңа технологиялар министрлігі (ҚР ИЖТМ) мен «Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы» республикалық мемлекеттік кәсіпорны арасында жасалған 2012 ж. 02.17-сіндегі № 2 шартына сәйкес орындалған.

STUDYING OF PROBABLE MIGRATION PATHS OF TRITIUM IN THE BASIN OF SHAGAN RIVER

A.V. Komlev, K.L. Zelensky, B.A. Kokezhanov, A.V. Kirillov

RSE Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

Submitted is the article on the works executed in 2012 on action item 1 “Safety of the former Semipalatinsk Test Site” under the Republican budgetary program 038 “Ensuring radiation safety in the territory of the Republic of Kazakhstan”. The works were carried out pursuant to the Contract No. 2 dated 17.02.2012, concluded between the Ministry of Industry and New Technologies of the Republic of Kazakhstan (MINT RK) and the Republican state enterprise “National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan” (NNC RK).

УДК 004.418:621.039.9

К ПРОВЕДЕНИЮ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ДНЕВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА СИП

Яковенко А.М., Богатырев А.О.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Рассмотрены вопросы создания и возможностей локальных систем геодезического мониторинга деформаций дневной поверхности в районах эпицентров ранее проведенных подземных ядерных взрывов, на примере одного из объектов Семипалатинского испытательного полигона.

ВВЕДЕНИЕ

Информация о движениях и напряженно-деформированном состоянии земной поверхности, обусловленных различными факторами, является важнейшей в аспекте прогноза катастрофических геодинамических процессов (землетрясений, оползней, сходов ледников и проседания грунтов в областях ведения народно-хозяйственной деятельности и т.п.). Аномальные техногенные геодинамические процессы вызывают горизонтальные сдвиги земной коры, разломообразование, подземные аварии, наводнения; при этом могут пострадать промышленные объекты, инженерные конструкции, жилые здания, и население.

Важнейшей характеристикой геодинамических объектов является их напряженно-деформированное состояние, так как при достижении некоторого критического значения напряжений, может произойти резкое изменение структуры объекта, свойств и т.п., вызывающее нежелательные и даже катастрофические последствия как на самих объектах так и на удалении от них.

Рассмотрению указанной проблемы в данный момент уделяется большое внимание во всем мире, и одним из важнейших инструментов для изучения геодинамики являются различные геодезические методы – нивелирование, триангуляция, современные спутниковые методы и др.

На территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) с 1949 по 1989 годы [1], проведено 456 испытаний ядерных устройств в атмосфере, на земле и под землей в горных выработках: горизонтальных – штольнях (участок Дегелен) и вертикальных – скважинах (участки Балапан, Сары-Узень, Телькем и др.). На многих объектах подземные ядерные испытания привели к деформации дневной поверхности в их эпицентральных зонах. Это свидетельствует о том, что над очаговыми полостями ранее проведенных подземных ядерных взрывов по прошествии десятков лет происходят различные геодинамические процессы. В этой связи в местах проведения ПЯВ на СИП актуальны применение и совершенствование одного из эффективных методов – деформационного мониторинга.

Цель данной работы – оценка возможностей локальных систем и обоснование необходимости реги-

ональной системы деформационного мониторинга на территории СИП.

Задачи исследований: 1) экспериментальное изучение деформаций дневной поверхности; 2) оценка деформационного режима; 3) обоснование систем локального и регионального мониторинга дневной поверхности.

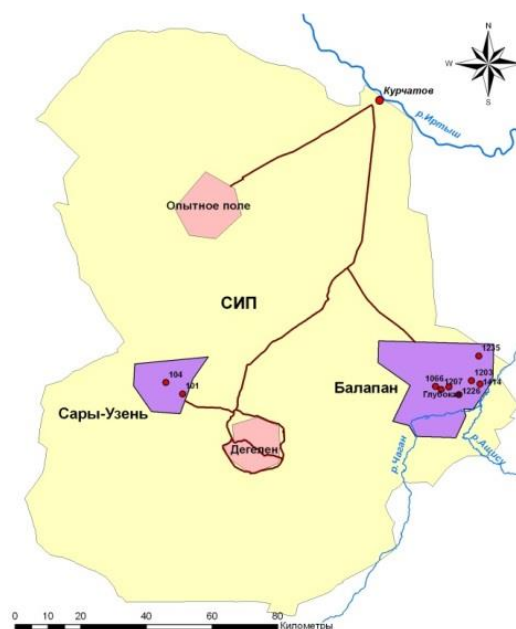


Рисунок 1 – СИП. Схема расположения исследуемых участков (фиолетовый цвет)

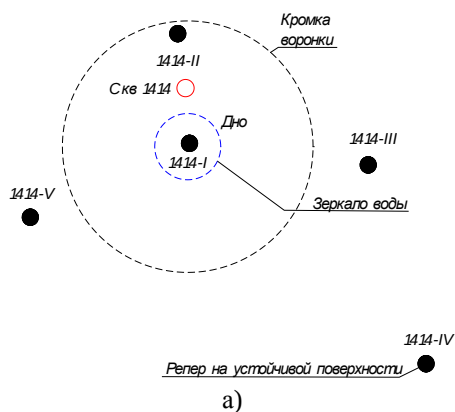
Исследования проведены на приустьевых площадках двух участков: Балапан и Сары-Узень (рисунок 1).

ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ДНЕВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

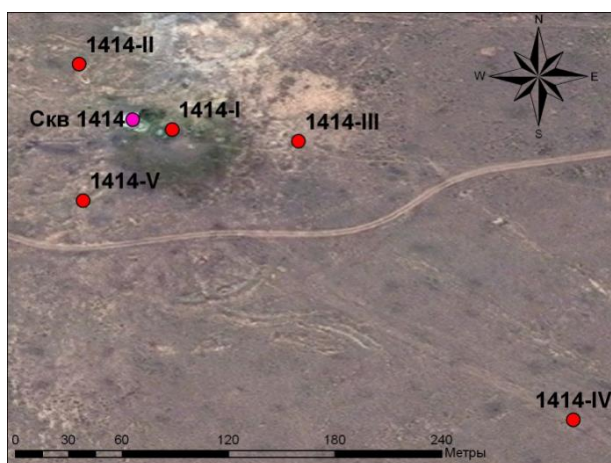
В результате проведенного геоморфологического мониторинга так называемых «боевых» скважин [2, 3, 4], для изучения отобраны 7 приустьевых площадок на участке Балапан (1414, 1207, 1066, 1203, 1226, 1235, Глубокая) и 2 приустьевых площадки на участке Сары-Узень (104 и 101) – рисунок 1. На этих скважинах отмечены деформации дневной поверхности. В данной работе приведены результаты по изучению состояния приустьевой площадки скважины 1414 участка Балапан (рисунок 2).



Рисунок 2 – Участок Балапан. Скважина 1414. Общий вид приустьевой площадки



а)



б)

Рисунок 3 – Участок Балапан. Скважина 1414. Схема наблюдательной сети: а – проектная; б – созданная

Испытание в скважине 1414 проведено 26.05.1984 г., количество зарядов – 2, их мощность – 20–150 и 0,001–20 кт, глубина заложения – 489 м. Для изучения современных деформационных процессов на приустьевой площадке этой «боевой» скважины в 2008 г. спроектирована (рисунок 3-а) и создана (рисунок 3-б) локальная наблюдательная сеть.

Один из пунктов закреплен в зоне наибольших деформаций – на дне воронки, три репера заложены по бортам и один – базовый репер, располагается на удалении от объекта, на устойчивой поверхности, вне зоны возможных деформаций от ПЯВ. Для выявления деформации дневной поверхности, начиная

с нескольких миллиметров высотного положения пунктов наблюдений, проведено нивелированием II класса согласно требованиям [5] и с использованием цифрового нивелира SOKKIA SDL30 (Япония) по штрих-кодовым фибергласовым рейкам с RAB-кодом. Нивелирование выполнялось по замкнутому ходу в прямом направлении по кольям, высота луча визирования над подстилающей поверхностью была не менее 0,5 м. Длина луча визирования не превышала 30 метров, разность плеч не превышала 0,5 метра. На рисунке 4 показано использованное оборудование.

В 2009 г. на пунктах системы деформационного мониторинга проведены первые инструментальные наблюдения и получены данные о высотном положении пунктов наблюдательной сети. Для объекта выбрана условная система высот. Далее в 2009–2012 гг. измерения проведены с периодичностью раз в год, в осенний сезон. В таблице 1 приведены результаты наблюдений на пунктах наблюдательной сети.



а)



б)

Рисунок 4 – К проведению нивелирования II класса по реперам: а – цифровой нивелир SOKKIA SDL 30 №10271; б – работа с нивелиром

К ПРОВЕДЕНИЮ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ДНЕВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА СИП

Таблица 1 – Приустьевая площадка скважины 1414 участка Балапан. Высотные отметки пунктов наблюдательной сети за 2009–2012 гг.

№ скважины, № репера	Н, м 2009 г.	Н, м 2010 г.	ΔН, мм 2010–2009	Н, м 2011 г.	Н, мм 2011–2010	Н, м 2012 г.	Н, мм 2012–2011	Примечание
1414-I	—	—	—	—	—	—	—	дно с водой, утрачен
1414-II	302,8172	302,8206	+3,4	302,8190	-1,6	302,8172	-1,8	Борт
1414-III	301,9513	301,9572	+5,9	301,9530	-4,2	301,9484	-4,6	Борт
1414-IV	300,0000	300,0000	—	300,0000	—	300,0000	—	баз. репер
1414-V	302,5650	302,5628	-2,2	302,5610	-1,8	302,5596	-1,4	Борт

ОЦЕНКА ДЕФОРМАЦИОННОГО РЕЖИМА НА ПРИУСТЬЕВОЙ ПЛОЩАДКЕ СКВАЖИНЫ 1414

По результатам наблюдений с использованием локальной сети проведен анализ результатов наблюдений на приустьевой площадке скважины 1414 участка Балапан, приведенных (таблица 1). Как следует из таблицы 1, в период 2009–2010 гг., наблюдалось поднятие в северо-западной и восточной части участка на пунктах г.р. II и г.р. III и понижение в юго-западной части на г.р. V. За последующие два периода (2010–2011 и 2011–2012 гг.) наблюдалось стабильное понижение отметок всех реперов, что свидетельствует о проседании дневной поверхности в окрестности скважины 1414. При этом максимальная деформация зафиксирована на г.р. III, расположенном в восточной части объекта (понижение на 8,8 мм).

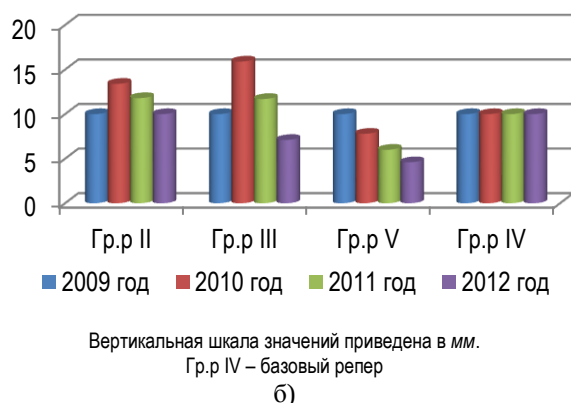
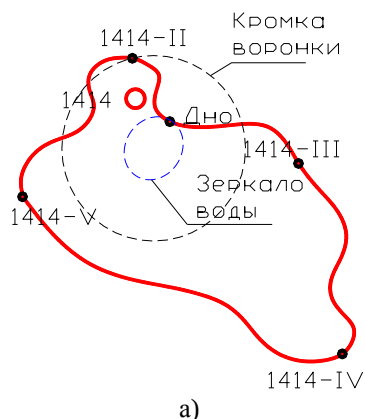


Рисунок 5 – Приустьевая площадка скважины 1414 участка Балапан. Диаграмма изменения отметок грунтовых реперов локальной сети

На рисунке 5 приведена диаграмма изменения отметок грунтовых реперов на приустьевой площадке скважины 1414.

По результатам наблюдений за период 2009 – 2012 гг., установлено, что в эпицентральной зоне в местах проведения ПЯВ происходят процессы деформации дневной поверхности, в 2010 – 2012 г. они выражаются проседанием, отмеченным на всех пунктах наблюдательной сети.

В целом по результатам нивелирования II класса проведенного на 9 приустьевых площадках «боевых» скважин сделан вывод, что происходят разнонаправленные изменения в воронках – как поднятия, так и проседания: по скважине 1066 - вспучивание дневной поверхности, по скважине 1207 - стабилизация деформаций, по скважине 1414 - продолжение просадки реперов с одинаковой динамикой, по скважине 104 - проседание реперов.

На основании проведенных экспериментальных наблюдений на всех 9 приустьевых площадках сформулированы следующие положения для создания локальных геодезических сетей с целью отслеживания деформации дневной поверхности в эпицентральных районах очаговых зон ПЯВ.

Для получения информации о происходящих геодезических процессах необходимо:

- закладывать репера и проводить мониторинг планово-высотного положения на приустьевых участках боевых скважинах локальной сетью в радиусе до 200 м (за исключение крупных воронок);
- количество наблюдательных точек (реперов) на каждом из объектов должно быть не менее 6;
- измерения выполнять методом нивелирования не ниже II класса;
- первый цикл высотных измерений должен проводиться через 12 месяцев после заложения реперов;
- второй цикл наблюдений проводить с периодичностью раз в квартал для установления возможной зависимости деформационных процессов от времени года;
- последующие циклы наблюдений следует установить с периодичностью, соответствующей выявленной зависимости от времени года или, при ее отсутствии, через 1 год (в тот же месяц, что при первом цикле наблюдений).

Для обеспечения точностных параметров высотных отметок, соответствующих действующей инструкции по нивелированию [5], необходимо организовать привязку пунктов всех наблюдательных сетей в единой системе координат и высот. Для этой цели на территории СИП имеются геодезические пункты государственной геодезической сети (ГГС), которые могли бы быть использованы для привязки реперов наблюдательных сетей в единой системе координат и высот. Однако ошибки в координатах пунктов ГГС, вызванные использованием ранее применяемой методики блочного уравнивания на локальных участках (до десятков см) [6], не отвечают точностным требованиям для деформационного мониторинга (до единиц мм). Поэтому необходимо создание современных высокоточных сетей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К началу 2013 г. на участках Семипалатинского испытательного полигона с ранее проведенными подземными ядерными взрывами Балапан и Сары-Узень созданы экспериментальные локальные сети на 9 приустьевых площадках боевых скважин для проведения геодезического мониторинга.

По установленным реперам в этих локальных сетях проконтролировано изменение высотных отметок с применением нивелирования высокой точности в течение 2009 – 2012 гг. Полученные данные подтвердили ежегодные изменения дневной поверх-

ности в эпицентральной зоне ПЯВ. Происходят разнонаправленные изменения в воронках – как поднятия, так и проседания. Амплитуда движения дневной поверхности сравнивалась с оценками, принятыми в нефтяной промышленности, согласно которым на СИП имеют место наряду с допустимыми, критические деформации. Это подтверждает необходимость дальнейшего проведения мониторинга, расширения наблюдательной сети, включение дополнительных наблюдений за горизонтальными смещениями, что позволит получать более полную информацию о происходящих геодинамических процессах на объекте.

Полученный опыт позволил обосновать рекомендации по улучшению работы локальных сетей и созданию на их основе региональной сети в целом для СИП. Для этого необходимо увеличить количество реперов (наблюдательных точек) в локальных сетях каждого объекта (относительно 5 принятых в экспериментах), установить более строгую периодичность наблюдений и, что особенно важно, создать современную (спутниковую) сеть для объединения локальных сетей в региональную. Это позволит в дальнейшем изучать геодинамические процессы и строить карты современных движений земной коры (СДЗК), как на самих испытательных участках (Балапан, Сары-Узень, Дегелен и др.), так и в региональном плане для всей территории СИП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ядерные испытания СССР./ Коллектив авторов. Под редакцией В.Н. Михайлова. Москва ИздАТ. 1997.
2. Отчет по мероприятию «Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона» в составе государственной бюджетной программы БП-011 «Обеспечение радиационной безопасности» за 2005 г. – ИГИ НЯЦ РК; рук. Демин В.Н. – Курчатова, 2005. – 65 с. (с приложениями на CD).
3. Отчет по мероприятию «Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона» в составе государственной бюджетной программы БП-011 «Обеспечение радиационной безопасности» за 2006 г. – ИГИ НЯЦ РК; рук. Демин В.Н. – Курчатова, 2006. - 77 с. (с приложениями на CD).
4. Отчет по мероприятию «Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона» в составе государственной бюджетной программы БП-011 «Обеспечение радиационной безопасности» за 2010 г. - ИГИ НЯЦ РК, рук. Дроздов А.В. – Курчатова, 2010. – 50 с.
5. Инструкция по нивелированию I, II, III, и IV классов. Издательство «Недра», Москва, 1974. – УДК 528.422 (0947).
6. Войтенко, А.В.. Применение калибровочных районов при топографо-геодезических работах со спутниковыми приемниками GPS / А.В. Войтенко // Геопрофи. – 2006. – №1. – С. 25-27.

ССП-ДА ЖЕР БЕТІНІҢ ДЕФОРМАЦИЯСЫН ЗЕРДЕЛЕУҮҮШІН ГЕОДЕЗИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГІН ЖҮРГІЗУІНЕ

Яковенко А.М., Богатырев А.О.

Геофизикалық зерттеулер институты РМК, Курчатова, Қазақстан

Семей сынау полигоны объектілерінің беруі үлгісінде бұрын жүргізілген жерасты ядролық жарылыстар аудадағында жер беті деформациясының геодезиялық мониторингінің локаль жүйелерін жасау мен олардың мүмнішілігі мәселелері қаралған.

**INSPECTION FOR GEODETIC MONITORING TO STUDY DEFORMATION
OF THE DAYLIGHT SURFACE IN THE STS**

A.M. Yakovenko, A.O. Bogatyryov

RSE Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

Issues on establishment and capabilities of local systems for geodetic monitoring of deformations of the daylight surface in epicentral areas of underground nuclear explosions conducted in the past. The case study is one of the objects in the Semipalatinsk Test Site.

СПИСОК АВТОРОВ

Айдарханов А.О., 28, 59, 66
Айдарханова А.К., 4
Бахтин Л.В., 72, 81
Богатырев А.О., 102
Зеленский К.Л., 96
Кабайлов А.Н., 90
Кириллов А.В., 96
Кириллов В.Д., 11
Кириллова Т.Г., 11
Кожаханов Т.Е., 16
Кокежанов Б.А., 96

Комлев А.В., 96
Кундузбаева А.Е., 16
Ларионова Н.В., 28
Лукашенко С.Н., 4, 16, 28, 59, 66
Ляхова О.Н., 28, 66
Магашева Р.Ю., 16, 32
Новикова Е.А., 72, 81
Паницкий А.В., 32, 59
Пестов Е.Ю., 72
Романенко В.В., 43, 51, 72, 81
Сальменбаев С.Е., 11

Стрильчук Ю.Г., 72
Субботин С.Б., 43, 51, 72, 81
Султанова Б.М., 32
Турченко Д.В., 59, 66
Чернова Л.В., 43
Шайторов В.Н., 90
Шатров А.Н., 11
Яковенко А.М., 102
Янкаускас А.Б., 28

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статьи предоставляются в электронном виде (на CD, DVD диске или по электронной почте присоединенным [attachment] файлом) в формате MS WORD и печатной копии.

Текст печатается на листах формата A4 (210×297 мм) с полями: сверху 30 мм; снизу 30 мм; слева 20 мм; справа 20 мм, на принтере с высоким разрешением (300-600 dpi). Горизонтальное расположение листов не допускается.

Используются шрифт Times New Roman высотой 10 пунктов для обычного текста и 12 пунктов для заголовков. Пожалуйста, для заголовков используйте стили (Заголовок 1, 2...) и не используйте их для обычного текста, таблиц и подписуемых подписей.

Текст печатается через одинарный межстрочный интервал, между абзацами – один пустой абзац или интервал перед абзацем 12 пунктов.

В левом верхнем углу должен быть указан индекс УДК. Название статьи печатается ниже заглавными буквами. Через 3 интервала после названия, печатаются фамилии, имена, отчества авторов и полное наименование, город и страна местонахождения организации, которую они представляют. После этого, отступив 2 пустых абзаца или с интервалом перед абзацем 24 пункта, печатается основной текст.

Максимально допустимый объем статьи – 10 страниц.

При написании статей необходимо придерживаться следующих требований:

- Статья должна содержать аннотации на казахском, английском и русском языках (130-150 слов) с указанием названия статьи, фамилии, имени, отчества авторов и полного названия организации, города и страны местонахождения, которую они представляют;
- Ссылки на литературные источники даются в тексте статьи цифрами в квадратных [1] скобках по мере упоминания. Список литературы следует привести по ГОСТ 7.1-2003;
- Иллюстрации (графики, схемы, диаграммы) должны быть выполнены на компьютере (ширина рисунка 8 или 14 см), либо в виде четких чертежей, выполненных тушью на белом листе формата A4. Особое внимание обратите на надписи на рисунке – они должны быть различимы при уменьшении до указанных выше размеров. На обороте рисунка проставляется его номер. В рукописном варианте на полях указывается место размещения рисунка. Рисунки должны быть представлены отдельно в одном из форматов *.tif, *.gif, *.png, *.jpg, *.wmf с разрешениями 600 dpi.
- Математические формулы в тексте должны быть набраны как объект Microsoft Equation или MathType. Химические формулы и мелкие рисунки в тексте должны быть вставлены как объекты Рисунок Microsoft Word. Следует нумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

К статье прилагаются следующие документы:

- рецензия высококвалифицированного специалиста (доктора наук) в соответствующей отрасли науки;
- выписка из протокола заседания кафедры или методического совета с рекомендацией к печати;
- акт экспертизы (экспертное заключение);
- сведения об авторах (в бумажном и электронном виде): ФИО (полностью), наименование организации и ее полный адрес, должность, ученая степень, телефон, e-mail.

Текст должен быть тщательным образом выверен и отредактирован. В конце статья должна быть подписана автором с указанием домашнего адреса и номеров служебного и домашнего телефонов, электронной почты.

Статьи, оформление которых не соответствует указанным требованиям, к публикации не допускаются.

Ответственный секретарь к.ф.-м.н. У.П. Козтаева
тел. (722-51) 2-33-35, E-mail: KOZTAEVA@NNC.KZ

Технический редактор И.Г. Перепелкин
тел. (722-51) 2-33-33, E-mail: IGOR@NNC.KZ

Адрес редакции: 071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Красноармейская, 2, зд. 054Б
<http://www.nnc.kz/vestnik>

© Редакция сборника «Вестник НЯЦ РК», 2013

Регистрационное свидетельство №1203-Ж от 15.04.2000 г.
Выдано Министерством культуры, информации и общественного согласия Республики Казахстан

Тираж 300 экз.

Выпуск набран и отпечатан в типографии
Национального ядерного центра Республики Казахстан
071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Красноармейская, 2, зд. 054Б



