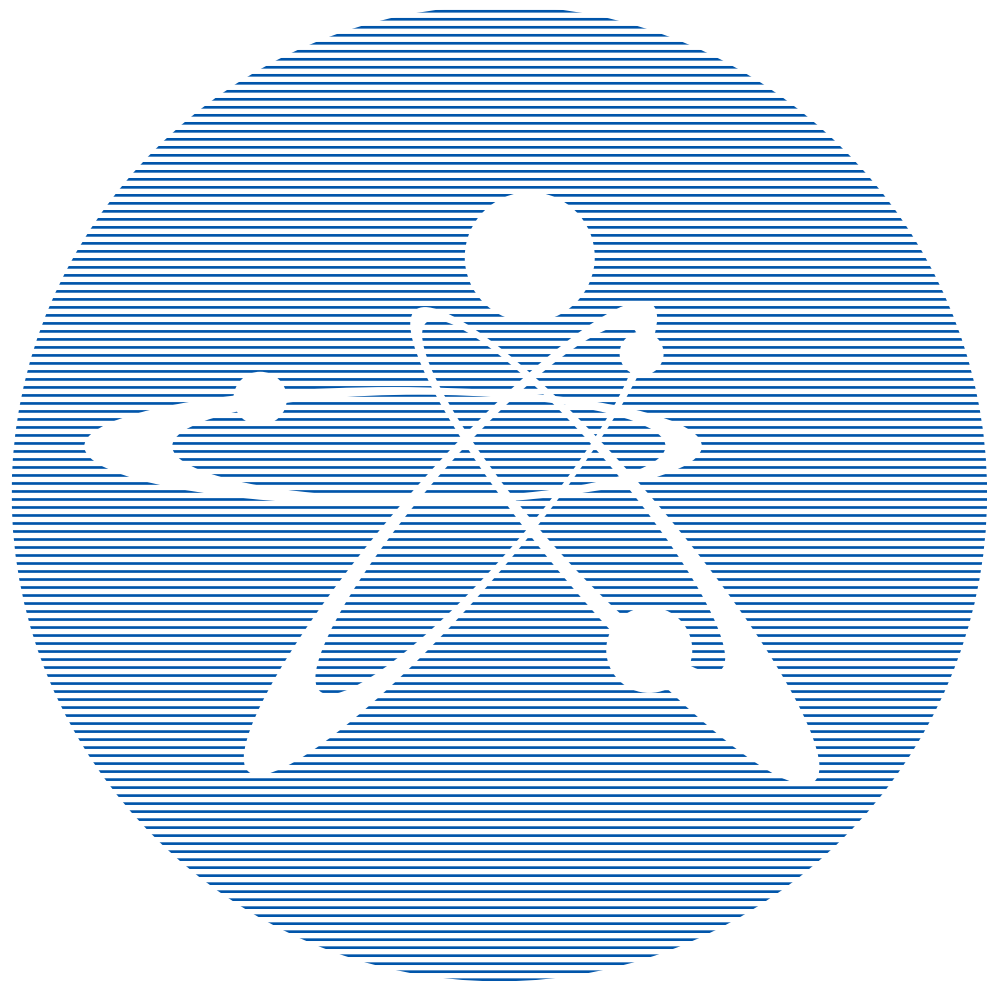


2017  
ВЫПУСК 4

ISSN 1729-7516

ЖУРНАЛ  
**Вестник**

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



# **Вестник НЯЦ РК**

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ВЫПУСК 4(72), ДЕКАБРЬ 2017

*Издается с января 2000 г.*

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

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:** д.ф.-м.н. СКАКОВ М.К. – заместитель главного редактора,  
д.т.н. БАТЫРБЕКОВ Г.А., д.ф.-м.н. БУРТЕБАЕВ Н.Т., доктор инженерии ВИЕЛЕБА В.К. (Польша),  
к.ф.-м.н. ВИТЮК В.А., к.ф.-м.н. ВУРИМ А.Д., д.т.н. ГРАДОБОВ А.В. (Россия), ЛУКАШЕНКО С.Н.,  
д.ф.-м.н. МАКСИМКИН О.П., д.ф.-м.н. МИХАЙЛОВА Н.Н., к.г.-м.н. ПОДГОРНАЯ Л.Е.,  
д.ф.-м.н. СОЛОДУХИН В.П., д.ф.-м.н. ТАЖИБАЕВА И.Л., профессор ФУДЖИ-Е (Япония)

## **ҚР ҰЯО Жаршысы**

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНЫҢ  
МЕРЗІМДІК ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛЫ

4(72) ШЫҒАРЫМ, ЖЕЛТОҚСАН, 2017 ЖЫЛ

## **NNC RK Bulletin**

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

ISSUE 4(72), DECEMBER 2017

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ХАРАКТЕР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТРИТИЕМ ВОД р. ШАГАН В РАЙОНЕ «АТОМНОГО» ОЗЕРА</b> Актаев М.Р., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О., Ляхова О.Н.....	5
<b>ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ СЕЛА КАЛАЧИ</b> Койгельдинова М.Т., Лукашенко С.Н., Кириллова Т.Г., Мухамедияров Н.Ж., Темиржанова А.Е., Ташекова А.Ж. ....	9
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА с. КАЛАЧИ</b> Лукашенко С.Н., Романенко В.В., Супрунов В.И., Садыков Р.А., Субботин С.Б.....	14
<b>РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЛА КАЛАЧИ АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ</b> Романенко В.В., Лукашенко С.Н., Умаров М.А., Гарбуз Ю.В., Осинцев А.Ю., Шатров А.Н.....	23
<b>ПОЛНОТЕКСТОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ СВОБОДНОГО ДОСТУПА ПО СЕМИПАЛАТИНСКОМУ ПОЛИГОНУ В ВЕБ-СРЕДЕ</b> Рыкова В.В. ....	30
<b>ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОСЕЛКА КАЛАЧИ</b> Субботин С.Б., Лукашенко С.Н., Зеленский К.Л., Романенко В.В., Супрунов В.И., Мельничук М.А.....	34
<b>ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ПЯВ НА СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ КАЛБА-ЧИНГИЗСКОГО РАЗЛОМА</b> Субботин С.Б., Зеленский К.Л., Новикова Е.А., Бахтин Л.В., Горбунова Э.М.....	43
<b>ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ФАКТОРОВ СТРЕСС-СИГНАЛИЗАЦИИ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ПЛАЗМЫ КРОВИ ЛЮДЕЙ, ПОДВЕРГАЮЩИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ РАДИАЦИИ</b> Чередниченко О.Г., Губицкая Е.Г., Пилогина А.Л.....	52
<b>РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ с. САРЖАЛ И ПРИЛЕГАЮЩИХ К НЕМУ ТЕРРИТОРИЙ</b> Лукашенко С.Н., Паницкий А.В., Стрильчук Ю.Г., Шатров А.Н., Яковенко Ю.Ю.....	58
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПОСТУПЛЕНИЯ ТРИТИЯ ИЗ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ</b> Турченко Д.В., Лукашенко С.Н., Ляхова О.Н., Айдарханова А.К. ....	67
<b>РАЗРАБОТКА ПРОГНОЗНОЙ МОДЕЛИ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ С ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ НА ПРИМЕРЕ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАРАЖЫРА»</b> Зеленский К.Л., Субботин С.Б., Романенко В.В., Мельничук М.А., Тюрин В.М., Корнеева С.В.....	71
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ С ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ В РАЙОНЕ БОЕВОЙ СКВАЖИНЫ 1071 НА ПЛОЩАДКЕ «БАЛАПАН»</b> Субботин С.Б., Зеленский К.Л., Ларионова Н.В., Романенко В.В., Супрунов В.И., Пронин С.С., Актаев М.Р., Мельничук М.А.....	81
<b>РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОЙ КАРТЫ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА</b> Каиржанов А.Е., Омарханова А.О., Стрильчук Ю.Г.....	91
<b>ОБЗОР НЕЙТРОННО-ТРАНСМУТАЦИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ КРЕМНИЯ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРАХ</b> Романова Н.К., Шаймерденов А.А., Гизатулин Ш.Х., Накипов Д.А., Чаков П.В., Кенжин Е.А.....	95

---

<b>РЕЛАКСАЦИЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В РЕАКТОРНЫХ СТАЛЯХ ПРИ РАДИАЦИОННОМ ИЛИ МЕХАНИКО-ТЕРМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ</b> Максимкин О.П., Яровчук А.В.....	102
<b>ВОЗМОЖНОСТЬ ДИСТАНЦИОННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕИЗВЕСТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ЯДЕРНОГО МАТЕРИАЛА, КАК ИНСТРУМЕНТА ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ИХ НЕЗАКОННОМУ ОБОРОТУ</b> Горин Н.В., Корнеев А.А., Пачурин Д.В., Стародумова И.Г., Липилина Е.Н., Чуриков Ю.И., Шмаков Д.В.....	110
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА РМСС ДЛЯ АНАЛИЗА ВОЛНОВОЙ КАРТИНЫ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ</b> Дубровин В. И., Михайлова Н.Н. ....	118
<b>СЕЙСМИЧНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН</b> Мукамбаев А.С., Михайлова Н.Н.....	124
<b>РЕГИСТРАЦИЯ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТЬЮ ИГИ МЭ РК</b> Узбеков Р.Б., Сейнасинов Н.А.....	131
<b>СПИСОК АВТОРОВ.....</b>	<b>140</b>

УДК 504.4.054: 546.11.02.3

**ХАРАКТЕР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТРИТИЕМ ВОД р. ШАГАН В РАЙОНЕ «АТОМНОГО» ОЗЕРА**

Актаев М.Р., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О., Ляхова О.Н.

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

В данной работе представлены результаты исследования характера загрязнения тритием тритием ( $^3\text{H}$ ) вод р. Шаган, в районе выхода из «Атомного» озера. Установлено, что загрязнение вод р. Шаган в районе «Атомного» озера связано с участками выхода основного и старого русла реки. Наиболее загрязненным участком р. Шаган являются воды старого русла, выходящие непосредственно из навала грунтов «Атомного» озера. Обнаружено, что разгрузка подрусловых вод старого русла является основным механизмом поступления  $^3\text{H}$  в поверхностные воды р. Шаган, расположенные на участке «2 км».

*Ключевые слова:* «Атомное» озеро, р. Шаган, тритий, поверхностные воды, подрусловые воды, приток, старица.

**ВВЕДЕНИЕ**

Ранее проведенными (2010–2013 гг.) исследованиями был изучен характер  $^3\text{H}$  загрязнения поверхностных вод р. Шаган. Было установлено, что присутствие  $^3\text{H}$  отмечается на всем протяжении реки, начиная от места выхода из «Атомного» озера, до впадения в р. Иртыш. При этом, максимальные концентрации  $^3\text{H}$  активностью до 350 000 Бк/кг фиксировались на расстоянии 5 км от «Атомного» озера [1–3]. В настоящее время, источники и механизмы формирования  $^3\text{H}$  загрязнения на участке реки с максимальными концентрациями изучены достаточно детально. В результате комплексных исследований, установлено, что резкое повышение концентрации  $^3\text{H}$  на участке «5 км» связано с поступлением загрязненных подземных вод по каналам тектонических нарушений, из полостей боевых скважин пл. «Балапан» [4].

В районе выхода р. Шаган из «Атомного» озера, содержание  $^3\text{H}$  в поверхностных реки изменялось от <12 до 2000 Бк/кг, далее вниз по течению на расстоянии 2 км, удельная активность  $^3\text{H}$  повышалась до 8000 Бк/кг. Данные изменения концентрации  $^3\text{H}$  могут быть обусловлены особенностями русла реки, поскольку в районе «Атомного» озера поверхностный водоток реки формируется двумя притоками, выходящими из внутреннего водоема и внешнего водохранилища. Стоит отметить, что выход притоков осуществляется путем фильтрации воды через загрязненные грунтовые навалы «Атомного» озера и внешнего водохранилища (плотины). В связи с этим, основное формирование  $^3\text{H}$  загрязнения реки в районе «Атомного» озера может быть связано с участками их выхода из навала.

Таким образом, целью данной работы являлось определение характера загрязнения  $^3\text{H}$  вод р. Шаган в районе выхода из «Атомного» озера и оценка их влияния на участки, расположенные ниже по течению (2 км).

**1. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Общая методология работ заключалась в уточнении притоков, формирующих поверхностный водоток реки, отборе проб поверхностных и подрусло-

вых вод и проведении лабораторных анализов. Все полевые работы проводились в летний период.

**1.1. Участки исследования**

Водоток р. Шаган формируется слиянием двух русел: основного – которое вытекает из плотины внешнего водохранилища, и старого – вытекающего из навала «Атомного» озера (рисунок 1).

Слияние двух русел происходит на расстоянии 1000 м вниз по течению от «Атомного» озера, при этом длина основного русла до мест слияния составляет 1300 м, а длина старого – 1000 м. Вместе с тем, в пойменной части старого русла имеется старица, образованная вследствие изменения направления русла. В настоящее время на данных участках старицы поверхностный сток воды отсутствует.

**1.2. Отбор воды и лабораторный анализ**

Отбор поверхностных вод осуществлялся из основного и старого русла с шагом 50 м, начиная от мест выхода, до участка их слияния. Отбор подрусловых вод проводился в пойменной части реки, между старым и основным руслом, а также на участках старицы реки (рисунок 1). Для отбора подрусловых вод в пойменной части реки оборудовались шурфы глубиной 30–40 см.

Определение содержания  $^3\text{H}$  проводилось методом жидкостинтиляционной спектрометрии на  $\beta$ -спектрометре TRI-CARB 2900 TR, в соответствии с ISO 9698/1989 [5].

**2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ****2.1. Распределение  $^3\text{H}$  в поверхностных водах основного и старого русла р. Шаган**

Определение содержания  $^3\text{H}$  проводилось во всех отобранных пробах воды из старого и основного русла. Согласно лабораторным анализам, наиболее высокие концентрации  $^3\text{H}$  фиксируются в водах старого русла р. Шаган. Результаты представлены на рисунке 2.

В водах старого русла содержание  $^3\text{H}$  изменяется от 20 000 до 45 000 Бк/кг. Максимальные значения фиксируются в районе выхода из «Атомного» озера, на расстоянии до 150 м. Начиная с 200 м

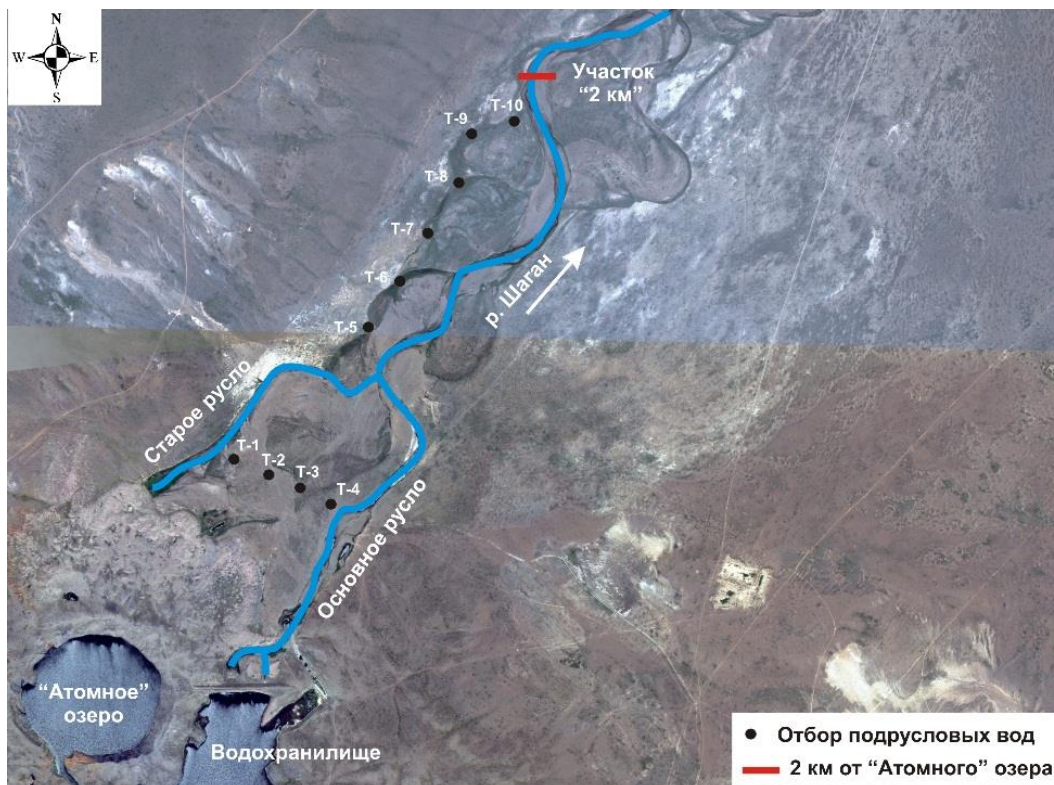


Рисунок 1. Русло р. Шаган в районе «Атомного» озера

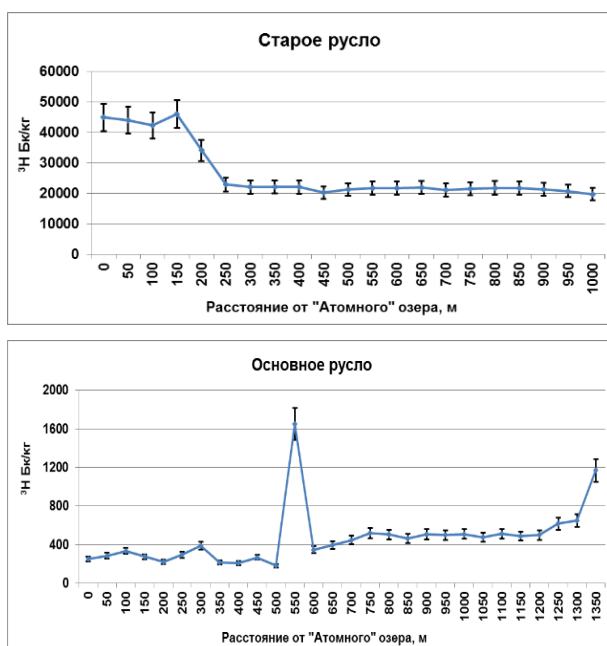


Рисунок 2. Распределение  $^3\text{H}$  в водах р. Шаган

наблюдается спад активности  $^3\text{H}$  до 23 000 Бк/кг. Далее концентрация  $^3\text{H}$  практически не изменяется, удельная активность остается на уровне 20 000 Бк/кг, до участка слияния старого русла с основным.

В водах основного русла удельная активность  $^3\text{H}$  существенно ниже. В районе выхода реки из внешнего водохранилища, содержание  $^3\text{H}$  составило 250–

300 Бк/кг. На участке 550 м, наблюдается скачок активности  $^3\text{H}$  до 1600 Бк/кг, однако, уже через 50 м, активность  $^3\text{H}$  снижается до 350 Бк/кг. В целом, начиная с 600 м, концентрация  $^3\text{H}$  находится в диапазоне 400-650 Бк/кг.

### 2.1. Содержание $^3\text{H}$ в подрусловых водах р. Шаган

Результаты определения содержания  $^3\text{H}$  в подрусловых водах на участках выхода из «Атомного» озера и внешнего водохранилища, а также в старицах р. Шаган представлены в таблице.

Таблица. Содержание  $^3\text{H}$  в подрусловых водах

№	Место отбора	Точка отбора	$^3\text{H}$ Бк/кг	Примечание
1	р. Шаган	T-1	6 000 ± 600	Район «Атомного» озера
2	р. Шаган	T-2	5 000 ± 500	
3	р. Шаган	T-3	4 500 ± 450	
4	р. Шаган	T-4	4 000 ± 400	Старица старого русла
5	р. Шаган	T-5	16 000 ± 1600	
6	р. Шаган	T-6	13 000 ± 1300	
7	р. Шаган	T-7	10 000 ± 1000	
8	р. Шаган	T-8	12 000 ± 1200	
9	р. Шаган	T-9	7 000 ± 700	
10	р. Шаган	T-10	8 000 ± 800	

Содержание  $^3\text{H}$  в подрусловых водах на участках выхода из «Атомного» озера и внешнего водохранилища составило в пределах 4000–6000 Бк/кг. Макси-

мальные значения отмечаются в точках, расположенных ближе к старому руслу, а минимальные – в районе основного русла (рисунок 1).

В подрусловых водах старицы удельная активность  $^3\text{H}$  изменяется от 8 000 до 16 000 Бк/кг. Максимальные значения  $^3\text{H}$  фиксируются в точках отбора Т-5 и Т-6, расположенных в местах слияния водотоков, а минимальные - на участках, расположенных на расстоянии 2 км от «Атомного» озера.

### 3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Наиболее загрязненным участком р. Шаган являются воды старого русла, выходящие непосредственно из навала «Атомного» озера. При этом, максимальные концентрации  $^3\text{H}$ , активностью до 45 000 Бк/кг прослеживаются на расстоянии до 150 м. Далее, ниже по течению, отмечается разбавление  $^3\text{H}$  до уровня 23 000 Бк/кг.

Воды основного русла характеризуются тем, что из навала внешнего водохранилища (плотины), происходит выход менее загрязненных вод, с удельной активностью до 250 Бк/кг. В районе слияния с основным руслом концентрация  $^3\text{H}$  увеличивается до 1200 Бк/кг. Это связано с тем, что происходит перемешивание  $^3\text{H}$  в результате слияние вод основного русла с водами старого русла.

Таким образом, установлено, что загрязнение вод р. Шаган в районе «Атомного» озера, непосредственно связано с участками выхода основного и старого русла.

По данным анализа подрусловых вод в районе «Атомного» озера установлено, что вымывание и миграция  $^3\text{H}$  из грунтов навала происходит не толь-

ко с поверхностными водами, но и с подрусловыми водами, распространенными в пойменной части реки. Об этом свидетельствует наличие загрязненных подрусловых вод  $^3\text{H}$ , активностью 4000–6000 Бк/кг (точки отбора Т-1 – Т-4).

Выявлено, что поверхностные воды старого русла загрязняют поток подрусловых вод в пойменной части реки. Это доказывается содержанием  $^3\text{H}$  в подрусловых водах, удельная активность которого составляет 16 000 Бк/кг в точке отбора Т-5, и уменьшается до 7000 Бк/кг в пределах участка «2 км» (точка отбора Т-10). Таким образом, установлено, что разгрузка загрязненных подрусловых вод является главным механизмом загрязнения поверхностных вод р. Шаган на участке «2 км», где ранее фиксировались повышенные значения  $^3\text{H}$  в поверхностных водах (до 8000 Бк/кг).

### Выводы

Получена детальная картина распределения  $^3\text{H}$  в поверхностных водах, в районе выхода р. Шаган из «Атомного» озера и внешнего водохранилища. Выявлено, что наиболее загрязненным участком реки, являются воды старого русла, выходящие из навала «Атомного» озера.

Установлено, что вымывание и миграция  $^3\text{H}$  из загрязненных грунтов «Атомного» озера происходит не только с поверхностными водами, но и с подрусловыми водами. Также обнаружено, что поверхностные воды старого русла загрязняют подрусловые потоки, которые выходят на поверхностные воды ниже по течению («2 км»).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Генова, С. В. Исследование характера и уровней радионуклидного загрязнения вод р. Шаган (Результаты 2010 года) / С. В. Генова, С. Н. Лукашенко, А. О. Айдарханов // Актуальные вопросы радиозологии Казахстана [Сборник трудов Национального Ядерного центра Республики Казахстан за 2010 г.]. – Т. 1. – Вып. 3. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2011. – С. 165–178.
2. Актаев, М. Р. Мониторинг радиоактивного загрязнения вод р.Шаган / М. Р. Актаев, А. О. Айдарханов, С. Н. Лукашенко // Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и перспективы развития: тез. докл. V Межд. научно-практической конф., 12–14 сентября. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2012. – С. 63–64. – ISBN 978-601-7112-85-1.
3. Айдарханов, А. О. Радиоактивное загрязнение вод реки Шаган (по результатам 2011-го года) / А. О. Айдарханов, С. Н. Лукашенко, С. В. Генова, О. Н. Ляхова, А. К. Айдарханова // Актуальные вопросы радиозологии Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011-2012 г.]. – Павлодар: Дом печати, 2013. – Т. 1. - Вып. 4. – С. 249–256. – ISBN 978-601-7112-74-5.
4. Есимбеков, А. Ж. Определение и локализация каналов поступления  $^3\text{H}$  в воды р. Шаган / А. Ж. Есимбеков, А. О. Айдарханов, М. Р. Актаев, А. В. Дроздов // Актуальные вопросы радиозологии Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011–2012 гг.]. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2013. – Т. 2. – Вып. 4. - С. 25–40.
5. Качество воды – определение активности трития, соответствующей данной концентрации – жидкостной метод сцинтилляционного счета. Международный стандарт ISO 9698:2010 (E). – Введ. 2010-12-15. – Швеция, 2010. – 24 с. – Инв. № Т. - 1128.



**«АТОМ» КӨЛІ АУМАҒЫНДА ШАҒАН ӨЗ. СУЛАРЫНЫҢ ТРИТИЙМЕН ЛАСТАНУ СИПАТЫ**

**М.Р. Ақтаев, С.Н. Лукашенко, А.О. Айдарханов, О.Н. Ляхова**

*ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан*

Аталған жұмыста, «Атом» көлі аумағынан шығар жерде Шаған өз. суларында  $^3\text{H}$  ластану сипатын зерттеу нәтижелері келтірілген. «Атом» көлі аумағындағы Шаған өз. суларының ластануы өзеннің негізгі және бұрынғы арнасының шығар телімімен байланысты екені анықталды. Шаған өз. көбірек ластанған телімі «Атом» көліндегі топырақ үйіндісінен тікелей түсетін ескі арнаның сулары болып табылады. Ескі арнадағы арна асты суларының жүктемесі «2 км» телімде орналасқан Шаған өз. жерүсті суларына  $^3\text{H}$  түсуінің негізгі механизмі болып табылатыны анықталды.

*Кілт сөздер:* «Атом» көлі, Шаған өз,  $^3\text{H}$ , жерүсті сулары, арна асты сулары, ағын, ескі арна.

**CHARACTER OF WATER CONTAMINATION IN SHAGAN RIVER NEAR THE “ATOMIC” LAKE**

**M.R. Aktaev, S.N. Lukashenko, A.O. Aidarkhanov, O.N. Lyakhova**

*Branch «Institute of Radiation Safety and Ecology» of RSE NNC RK, Kurchatov city, Kazakhstan*

The paper provides the results of researching character of water contamination with  $^3\text{H}$  in Shagan river at the point of outflow from the “Atomic” lake. It was found that contamination of water in Shagan river in vicinity of the “Atomic” lake is interrelated with the areas of the main and the old river channels. The most intensively contaminated part of Shagan river is the water of the old channel, originating from the dumps of the “Atomic” lake. It was found that the discharge of infrabed water of the old channel is the main source of  $^3\text{H}$  uptake into the surface water of Shagan river at the “2 km” area.

*Key words:* “Atomic” lake, Shagan river,  $^3\text{H}$ , surface water, infrabed water, tributary, dead arm of the river.

УДК 577.4:504.3.054: 541.182.2

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ СЕЛА КАЛАЧИ****Койгельдинова М.Т., Лукашенко С.Н., Кириллова Т.Г.,  
Мухамедияров Н.Ж., Темиржанова А.Е., Ташекова А.Ж.***Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

В данной работе представлены обобщенные результаты исследования атмосферного воздуха с. Калачи на содержание химических элементов, в том числе тяжелых металлов. Наблюдения показали отсутствие превышения предельно-допустимых концентраций исследуемых элементов в атмосферном воздухе с. Калачи. Результаты по содержанию химических элементов в атмосферных аэрозолях с. Калачи схожи с результатами, полученными для фонового поста, расположенного в с. Иглик.

*Ключевые слова:* аэрозоли, химические элементы, предельно-допустимая концентрация

**ВВЕДЕНИЕ**

В 2013–2014 гг. у жителей с. Калачи Акмолинской области были зарегистрированы симптомы неизвестного заболевания, которое по информации, представленной Министерством здравоохранения РК, упоминается как «энцефалопатия неясной этиологии» или «сонный синдром». Основным симптомом заболевания у пациентов являлась слабость, сонливость, головокружение, нарушение координации движений и даже частичная потеря памяти. Многочисленные научные исследования не могли установить причину возникновения «сонного» синдрома [1–4].

Было высказано предположение, что возникновение данного заболевания связано с содержанием токсичных веществ в аэрозолях воздуха. Аэрозоль легко проникает в органы человека в процессе дыхания и при наличии вредных веществ (тяжелые металлы и радионуклиды) может привести к тяжелым заболеваниям.

Для выяснения причин возникновения данного синдрома проводилось изучение химического состава атмосферных аэрозолей. Основная цель данной работы – оценка элементного состава атмосферного аэрозоля села Калачи.

**1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ**

*Выбор точек отбора.* Согласно распределению участков повышенной встречаемости случаев «сонного» синдрома на территории с. Калачи выбраны контрольные точки, в которых были организованы посты периодического отбора проб атмосферного воздуха на микроэлементный анализ. Места отбора образцов аэрозолей располагались на территории частных жилых дворов, школы и кафе по улицам: Степная, Мира, Ключевая, Ленина, Строительная, Школьная. Фоновый пост отбора проб атмосферного воздуха организован в с. Иглик, которое расположено в 30 км к югу от с. Калачи (рисунок 1).

Отбор проб воздушных аэрозолей осуществлялся в соответствии с рекомендациями РД 52.04.186-89 [5] на протяжении суток переносным пробоотборником воздуха CF-993В с фиксированной скоростью на высоте 1,5–2 м. Прокачка воздуха в 9:00–11:00, 14:00–16:00 и с 19:00–21:00 в течение 2 часов, объем

аспирированного воздуха был не менее 20 м<sup>3</sup>. Использовали фильтры марки LB-5211, модели 0750-36 с диаметром 47 мм. Всего в селе Калачи отобрано 47 проб воздушных аэрозолей с сентября 2014 по август 2015 года.



Рисунок 1. Схема расположения точек отбора проб атмосферного воздуха

Пробоотборное оборудование тщательно очищалось при каждой прокачке воздуха. При транспортировке фильтры хранились запечатанными в герметичных пластиковых пакетах. В паспорте указывали объем прокачанного воздуха и время прокачки воздуха. В каждой партии фильтров было по 1 неэкспонированному образцу (холостая проба) для определения фонового содержания веществ в фильтре [6].

*Пробоподготовка фильтров.* Подготовка для анализа фильтров после прокачки через них атмосферного воздуха проводилась автоклавным разло-

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ СЕЛА КАЛАЧИ

жением. Фильтр помещали во фторопластовый вкладыш автоклава, добавляли 6 см<sup>3</sup> конц. HNO<sub>3</sub> и 4 см<sup>3</sup> конц. HF, помещали в сушильный шкаф, разогретый до 160 °С, и выдерживали в течение 4 часов. Далее в процессе выпаривания растворов с азотной кислотой удаляли фторид-ионы. Полученный раствор разбавлялся в соотношении 1:100 и анализировался методом масс-спектрометрии (ИСП-МС).

*Проведение аналитических работ.* Определение содержания химических элементов проводилось методом ИСП-МС с использованием квадрупольного масс-спектрометра Agilent 7700x фирмы «Agilent Technologies».

Для построения градуировочных зависимостей применяли стандартные мультиэлементные растворы компании Perkin Elmer («Multi-element ICP-MS Calibration Std»). Контроль качества измерений осуществлялся путём измерения калибровочного раствора через каждые 10 проб. При неудовлетвори-

тельном результате калибровки (отклонение калибровочного графика на 10 %) проводилась перекалибровка прибора, при которой учитывались новые параметры фона.

Для всех образцов применялся полуколичественный анализ методом ИСП-МС на весь спектр элементов, далее на основе него проводился количественный анализ интересующих элементов.

### 2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 1 приведены данные о среднесуточном содержании элементов в пробах воздуха (нг/м<sup>3</sup>).

Для сравнения приведены ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест, отвечающие санитарно-эпидемиологическим требованиям, а также величины содержания элементов в аэрозолях городских и сельских районов по литературным данным [7].

*Таблица 1. Содержание химических элементов в аэрозолях атмосферного воздуха с Калачи, нг/м<sup>3</sup>*

Место отбора	Дата	Mn	Be	Cr	Co	Ni	Cu	Fe	V	Cd	Mo	Pb	U
Мира 6	05.09	50	<1	6	<5	<1	40	1100	3	<3	4	<5	<1
Степная 8/1	06.09	40	<1	30	<5	2	5	<50	6	<3	3	8	<1
Степная 8/1	09.09	75	<1	<1	<5	7	30	275	14	<3	16	25	2
Школа	06.09	50	<1	15	<5	5	44	<50	5	<3	8	13	<1
Больничная 2	07.09	60	<1	24	<5	<1	<5	271	7	<3	4	18	<1
Ключевая 6	08.09	220	<1	<1	8	22	300	1500	29	5	59	61	4
Ключевая 6	08.09	100	<1	<1	<5	7	40	790	16	<3	18	26	2
Скала	06.09	50	<1	14	<5	9	80	450	6	<3	8	24	<1
Скала	06.09	30	<1	6	<5	<1	100	110	2	<3	<3	18	<1
Шалаш	07.09	110	<1	26	<5	6	75	400	11	<3	12	18	<1
Шалаш	07.09	110	<1	17	<5	12	90	165	4	<3	9	29	<1
Ленина	25.09	40	<1	<1	<5	5	50	1900	5	<3	4	5	<1
Ленина	26.09	60	<1	<1	<5	8	120	2200	19	<3	5	9	<1
Степная 5-2	29.09	20	<1	<1	<5	<1	20	270	<1	<3	<3	<5	<1
Гагарина 13	01.10	70	<1	<1	<5	<1	40	730	8	<3	12	12	<1
Школа	03.10	20	<1	<1	<5	<1	40	500	2	<3	6	12	<1
кафе Уют	07.10	60	<1	<1	<5	<1	100	770	8	<3	19	18	<1
Строительная 14	10.10	9	<1	<1	<5	2	12	270	2	<3	–	<5	<1
Степная 8	13.10	13	<1	3	<5	2	30	200	2	<3	–	<5	<1
Степная 8	15.10	<5	<1	<1	<5	2	30	50	2	<3	–	8	<1
Больнич. пер. 7	17.10	<5	<1	<1	<5	<1	40	50	<1	<3	–	<5	<1
Степная 5-2	01.10	20	<1	<1	<5	<1	20	270	<1	<3	<3	<5	<1
Степная 5-2	30.10	50	<1	<1	<5	6	18	120	6	<3	<3	13	<1
Ключевая	01.11	20	<1	<1	<5	2	10	<50	3	<3	4	8	<1
Кафе Уют	03.11	60	<1	<1	<5	6	17	100	5	<3	6	14	<1
Кафе Уют	03.11	80	<1	<1	<5	9	60	500	12	<3	12	21	<1
Больничная 2	05.11	45	<1	<1	<5	6	10	<50	8	<3	14	11	<1
Степная 8-2	16.11	10	<1	12	<5	3	70	280	<1	<3	8	10	<1
Степная 8-2	24.11	<5	<1	12	<5	3	90	120	2	<3	12	6	<1
Больничная 7	19.11	17	<1	14	<5	4	20	270	3	<3	2	11	<1
Больничная 7	23.11	15	<1	14	<5	3	40	110	2	<3	5	12	<1
Ленина 14	14.01	100	<1	36	<5	6	1900	310	7	<3	250	22	<1
Ключевая 5	19.01	76	<1	50	<5	8	200	470	15	<3	36	17	<1

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ СЕЛА КАЛАЧИ**

Место отбора	Дата	Mn	Be	Cr	Co	Ni	Cu	Fe	V	Cd	Mo	Pb	U
Школьная 7	29.01	<5	<1	<1	<5	<1	300	86	<1	<3	40	8	<1
Ключевая 5	13.02	30	<1	<1	<5	<1	90	370	2	<3	9	16	<1
Ключевая 5	10.03	14	<1	<1	<5	<1	18	100	3	<3	3	6	<1
Школа	11.03	39	<1	<1	<5	3	230	350	8	<3	35	7	<1
Ключевая 5	02.05	<5	<1	<1	<5	<1	<5	640	<1	<3	40	<5	<1
Школа	16.05	175	<1	65	<5	<1	<5	810	<1	<3	40	<5	<1
Ключевая 5	14.05	55	<1	45	<5	<1	<5	650	<1	<3	30	<5	<1
Ключевая 5	12.06	<5	<1	30	<5	6	250	1600	65	<3	30	35	<1
Ключевая 5	16.06	<5	<1	40	<5	9	250	3200	60	<3	30	36	<1
Ключевая 5	06.07	40	<1	<1	<5	<1	150	50	<1	<3	30	<5	<1
Ключевая 5	29.07	35	<1	<1	<5	<1	220	200	1,5	<3	30	<5	<1
Ключевая 5	01.08	10	<1	70	<5	20	220	4230	74	<3	30	36	<1
Ключевая 5	17.08	30	<1	40	<5	17	165	3000	84	<3	19	35	<1
Ключевая 5	31.08	<5	<1	20	<5	14	360	2000	75	<3	40	26	<1
<b>Среднее* (n=47)</b>		<b>38</b>	<b>&lt;1</b>	<b>&lt;1</b>	<b>&lt;5</b>	<b>3</b>	<b>44</b>	<b>276</b>	<b>5</b>	<b>&lt;3</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>&lt;1</b>
<b>Аэрозоли (сельские р-ны), нг/м³ [7]</b>		<b>0,1–28</b>	<b>–</b>	<b>0,03–1</b>	<b>–</b>	<b>0,2–19</b>	<b>0,3–16</b>	<b>6–840</b>	<b>0,2–4</b>	<b>0,1–32</b>	<b>–</b>	<b>0,7–158</b>	<b>–</b>
<b>Аэрозоли (городские р-ны), нг/м³ [7]</b>		<b>7–460</b>	<b>–</b>	<b>9–740</b>	<b>–</b>	<b>291–311</b>	<b>7–440</b>	<b>93–11100</b>	<b>3–970</b>	<b>0,3–4</b>	<b>–</b>	<b>67–2850</b>	<b>–</b>
<b>ПДК [8, 9]</b>		<b>1000</b>	<b>10</b>	<b>1000</b>	<b>1000</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>40000</b>	<b>2000</b>	<b>300</b>	<b>20000</b>	<b>300</b>	<b>–</b>

Примечание: \* – за средние значения принято медианное значение.

Результаты мониторинга атмосферного воздуха с. Калачи, показали, что концентрации исследуемых элементов не превышают уровень ПДК и соответствуют гигиеническим нормативам атмосферного воздуха для населенных мест. Кроме того выявленный диапазон концентраций химических элементов в целом согласуется с литературными данными по их содержанию в атмосферных аэрозолях [7].

Пылевые частицы всегда находятся в атмосфере, их количество зависит от механизмов ветрового пылеобразования. Их концентрация, минеральный состав, распределение по размерам зависят от скорости ветра, типа почвы, ее дисперсности и влажности, наличия и вида растительности и других факторов.

Химический состав аэрозольных частиц определяется их происхождением. Одним из основных источников естественных аэрозолей в аридных зонах являются пылевые частицы почвы и горных пород, поднимаемых в воздух при ветровой эрозии.

Известно, что ветровому подъему в большей степени подвержены наиболее мелкодисперсные гранулометрические фракции почвы. Однако при самом грубом приближении, зная химический состав верхнего (0–5 см) слоя почвы, а также среднюю запыленность воздуха данного региона, можно рассчитать вклад почвенно-эрозионных процессов в ожидаемую концентрацию элементов в атмосферных аэрозолях.

В расчётах использовали среднюю запыленность воздуха – 12,3 мг/м³ (данная запыленность выявлена для с. Долонь ВКО) при скорости ветра 1–3 м/с [10]. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

*Таблица 2. Зависимость содержания элементов от химического состава почвы*

Элементы	Концентрация в верхнем слое почвы (0–5 см), мг/кг (n= 10)	Расчетная концентрация в аэрозолях нг/м³	Фактическая концентрация в аэрозолях, нг/м³ (n=47)
<b>Mn</b>	1230	15,0	38
<b>Be</b>	2,3	0,03	<1
<b>Cr</b>	300	3,70	<1
<b>Co</b>	20	0,25	<5
<b>Ni</b>	70	0,86	3
<b>Cu</b>	57	0,70	44
<b>Fe</b>	2900	360	280
<b>V</b>	110	1,40	5
<b>Cd</b>	0,5	0,01	<3
<b>Mo</b>	1,8	0,02	9
<b>Bi</b>	–	–	–
<b>Pb</b>	48	0,60	12

Расчетные концентрации для большинства исследуемых элементов имеют такие же порядки, как и фактически измеренные в атмосферных аэрозолях. С большой степенью вероятности можно сказать, что источником таких элементов как Mn, Fe, Ni, V в атмосферных аэрозолях с. Калачи являются почвенно-эрозионные процессы. Для таких элементов как Cu, Mo, Pb возможны и другие источники поступления (например, сжигание топлива).

В качестве сравнения также отобраны пробы аэрозолей с близлежащего с. Иглик. Обобщенные результаты элементного состава аэрозолей, отобранных в селах Калачи и Иглик, представлены в таблице 3.

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ СЕЛА КАЛАЧИ**

Таблица 3. Элементный состав атмосферных аэрозолей с. Калачи и с. Иглик, нг/м<sup>3</sup>

Элемент	с. Калачи (n=47)	с. Иглик (n=11)	ПДК [8,9]
Mn	$\frac{38}{1 \div 220}$	$\frac{35}{5 \div 240}$	1000
Be	<1	<1	10
Cr	$\frac{1}{1 \div 70}$	$\frac{1}{1 \div 80}$	1000
Co	<5	<5	1000
Ni	$\frac{3}{1 \div 22}$	$\frac{3}{1 \div 15}$	1000
Cu	$\frac{44}{5 \div 1900}$	$\frac{39}{5 \div 260}$	2000
Fe	$\frac{280}{50 \div 4200}$	$\frac{170}{24 \div 3900}$	40000
V	$\frac{5}{1 \div 85}$	$\frac{3}{1 \div 60}$	2000
Cd	<3	<3	300
Mo	$\frac{9}{2 \div 250}$	$\frac{11}{3 \div 60}$	20000
Pb	$\frac{12}{5 \div 60}$	$\frac{7}{5 \div 40}$	300
U	<1	<1	-

Исходя из всего вышеизложенного, можно сказать, что получен микроэлементный «портрет» атмосферного воздуха с. Калачи. Результаты по содержанию химических элементов в атмосферных аэрозолях с. Калачи схожи с результатами, полученными для фонового поста, расположенного в с. Иглик.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Получен микроэлементный «портрет» атмосферного воздуха с. Калачи. Представленные результаты свидетельствуют об отсутствии превышения предельно-допустимых концентраций исследуемых элементов в атмосферном воздухе с. Калачи. Показано, что расчетные концентрации для большинства исследуемых элементов имеют такие же порядки, как и фактически измеренные в атмосферных аэрозолях. Предположительно, основным источником для таких элементов как Mn, Fe, Ni, V в атмосферных аэрозолях с. Калачи являются почвенно-эрозийные процессы, т.е. данные элементы имеют природное происхождение. Для таких элементов как Pb, Cu и Mo возможны и другие источники поступления, например сжигание топлива.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что химический состав атмосферных аэрозолей в данном случае не является фактором, влияющим на возникновение случаев «сонного» синдрома.

**ЛИТЕРАТУРА**

- Новикова, А. Жителей Казахстана опять валит с ног неизвестная науке «сонная болезнь» [http://www.kp.ru/daily/26326/3211389] / А. Новикова // Комсомольская Правда Казахстан. – 2015. - 13 января.
- 7 тысяч исследований проведено за год изучения «сонной» болезни в селе Калачи [https://tengrinews.kz/medicine/7-tysyach-issledovaniy-provedeno-god-izucheniya-sonnoy-252324/] // Tengrinews.kz. – 2014. - 20 марта.
- В селе Калачи продолжается эпидемия сонной болезни [http://total.kz/society/2014/03/01/v\_sele\_kalachi\_prodolzhaetsya\_ep] // Total.kz. – 2016. - 3 ноября.
- Виноградов Д. «Сонная деревня»: ученые Казахстана близки к разгадке «тайны века» [https://ria.ru/science/20150526/1066508557.html] // РИА Новости. Россия сегодня. - 2015. - 26 мая.
- Руководство по контролю загрязнения атмосферы. - РД 52.04.186-89. - Москва, 1991. - Часть 1.
- Руководство ЕМЕП по отбору проб и химическому анализу «Совместная программа мониторинга и оценки дальнего атмосферного переноса загрязняющих веществ в Европе». – 1996. – 294 с.
- Перельман, А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман, Н. С. Касимов. – М.: Астрель, 2000. – 715 с.
- Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к атмосферному воздуху в городских и сельских населенных пунктах, почвам и их безопасности, содержанию территорий городских и сельских населенных пунктов, условиям работы с источниками физических факторов, оказывающих воздействие на человека»: утв. постановлением Правительства Республики Казахстан 25 января 2012 г. № 168.
- Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест: ГН 2.1.6.1338-03; МЗ РФ от 30 мая 2003 г. № 114.
- Актуальные вопросы радиозоологии Казахстана [Оптимизация исследований территорий Семипалатинского испытательного полигона с целью их передачи в хозяйственный оборот]: монография / Под. рук. С. Н. Лукашенко. – Павлодар: Дом печати, 2015. - Вып. 5. – С. 233 – 246. – ISBN 978 – 601 – 7112 – 99 – 8.

**КАЛАЧИ АУЫЛЫНЫҢ АТМОСФЕРАЛЫҚ АЭРОЗОЛЬДАРЫНЫҢ  
ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫ**

**М.Т. Қойгелдинова, С.Н. Лукашенко, Т.Г. Кириллова,  
Н.Ж. Мұхамедияров, А.Е. Теміржанова, А. Ж. Ташекова**

***ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы,  
Курчатов, Қазақстан***

Аталған жұмыста, химиялық элементтер, оның ішінде ауыр элементтердің құрамына қатысты Калачи ауылының атмосфералық ауасына жүргізілген зерттеулердің ортақ нәтижелері келтірілген. Зерттеулердің нәтижелерінен, Калачи ауылының атмосфералық ауасында зерттеу жүргізіліп жатқан элементтердің шекті-рауалы шоғырлану мәнінің артуы байқалмады. Калачи ауылының атмосфералық аэрозольдарындағы химиялық элементтердің құрамы бойынша нәтижелерден, Игілік ауылында орналасқан аялық бекеттен алынған нәтижелерге өте ұқсас екені анықталды.

*Кілт сөздер:* аэрозольдар, химиялық элементтер, шекті-рауалы шоғырлану.

**CHEMICAL COMPOSITION OF ATMOSPHERIC AEROSOLS  
AROUND KALACHI VILLAGE**

**M.T. Koigeldinova, S.N. Lukashenko, T.G. Kirillova,  
N.Zh. Mukhamediyarov, A.Ye. Temirzhanova, A.Zh. Tashekova**

***Branch «Institute of radiation Safety and Ecology» RSE «NNC RK», Kurchatov, Kazakhstan***

This paper presents generalized results of atmospheric air research around Kalachi village into concentrations of chemical elements including heavy metals. Observations have shown no excess of maximum allowable concentrations of elements of interest in the atmospheric air. Results of chemical elements concentrations in atmospheric aerosols around Kalachi village are similar to those obtained for the background post located in Iglık village.

*Key words:* aerosols, chemical elements, maximum allowable concentration

УДК 504.3.054:543.27

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА с. КАЛАЧИ**

Лукашенко С.Н., Романенко В.В., Супрунов В.И., Садыков Р.А., Субботин С.Б.

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

В работе, являющейся частью комплексных исследований экологической ситуации, представлены результаты исследования атмосферного воздуха с. Калачи в период с 2014 по 2016 год. В ходе оперативных измерений в период возникновения «сонного» синдрома зарегистрировано неоднократное сверхнормативное содержание угарного газа (до  $54 \text{ мг/м}^3$ ).

По результатам работ определено наличие некоторой связи повышенных значений концентраций газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  и компонента, предположительно, из углеводородного ряда) в воздухе жилых помещений с проявлением случаев «сонного» синдрома. Установлено, что для периодов всплеск «сонного» синдрома характерно изменение состава атмосферного воздуха: понижение содержания  $\text{O}_2$ , повышение концентраций  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ . Анализ результатов исследований показал признаки углеводородного загрязнения компонентами  $\text{C}_6\text{--C}_{10}$ .

*Ключевые слова:* атмосфера, загрязнение, «сонный» синдром, концентрация, предельно-допустимая концентрация, мониторинг, анализ, углеводороды.

**ВВЕДЕНИЕ**

Весной 2014 года в средствах массовой информации появились сообщения о случаях возникновения «сонного» синдрома у жителей села Калачи Акмолинской области. При этом, в ходе исследований санитарно-эпидемиологической и токсикологической службы, а также медицинского обследования пострадавших, явной причины возникновения такого синдрома не установлено.

Первый зафиксированный случай произошел в июле 2012 г. В 2013 году в лечебные организации обратилось уже более 30 человек с симптомами неизвестного заболевания, из них 7 за период с 22 марта по 1 апреля. С начала 2014 года было зарегистрировано 26 случаев. В итоге на 19 января 2015 г. всего зарегистрировано более 140 случаев заболевания. Возраст обратившихся, по данным больницы г. Есиль, от 2,5 до 81 лет.

Для выявления причин возникновения данного заболевания, позже названного «сонный» синдром, создана межведомственная Государственная комиссия. В рамках данной комиссии Национальным ядерным центром разработана программа исследования экологической ситуации села.

Поскольку предварительные исследования указывали на возможное поступление вредных веществ с атмосферным воздухом, в рамках данной программы проведены исследования газового состава атмосферного воздуха.

Целью данного исследования являлась оценка состояния атмосферного воздуха с. Калачи. Для достижения данной цели поставлены следующие задачи:

- исследование содержания газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , углеводородов  $\text{C}_1\text{--C}_5$ ) в воздухе жилых помещений;
- исследование динамики изменения концентрации газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , углеводородов  $\text{C}_1\text{--C}_5$ ) на открытой местности.

**1. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУХА В ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ****1.1. Оценка общего распределения концентраций газов в жилых помещениях на территории села**

Для получения общей информации о качестве атмосферного воздуха жилых помещений села Калачи проведены измерения концентрации газов  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ .

*Объект исследований.* Объектом исследований являлся атмосферный воздух в жилых домах села Калачи. Жилые дома представляют собой одноэтажные кирпичные или щитовые постройки. Для обогрева используется печное отопление, приготовление пищи осуществляется с использованием газовых плит.

*Методика проведения работ.* Для проведения измерений использован портативный газоанализатор «Комета-М», определяемые компоненты –  $\text{CO}$  ( $1\text{--}300 \text{ мг/м}^3$ ),  $\text{CO}_2$  ( $0,01\text{--}5 \%$ ),  $\text{O}_2$  ( $0\text{--}30 \%$ ). В каждом доме проведено одно измерение на высоте 1 м в местах наиболее частого пребывания жителей (комната с печью). Жители домов при проведении измерений жили своим обычным распорядком, что позволило получить сведения о реальных концентрациях в помещениях без создания искусственных условий. Окна в жилых домах у жителей села запечатаны круглый год и не открываются. Жилые помещения не проветривались, источником поступления свежего воздуха являлась входная дверь. Измерения проводились путем подвального обхода домов в период с 9:00 до 18:00 в течение недели. Период проведения работ: март-апрель.

*Результаты исследований.* На территории села обследовано 136 домов. Согласно полученным данным в 62 % случаев концентрация угарного газа превышает максимальную разовую предельно допустимую концентрацию (ПДК), равную  $5 \text{ мг/м}^3$  [1].

Максимальное содержание CO (оксида углерода II) достигает 42 мг/м<sup>3</sup> (таблица 1). Повышенные концентрации угарного газа наблюдаются по всей территории села Калачи.

Таблица 1. Концентрации газов, измеренные в жилых помещениях

Параметр	CO, мг/м <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> , %	O <sub>2</sub> , %	CH <sub>4</sub> , %
Средняя	9	0,10	20,8	0,04
Минимальная	0	0,01	20,1	0,01
Максимальная	42	1,23	21,0	0,20
ПДК[1] / фон [2]	5/0	- / 0,03	- / 20,9	- / 0,0002

Концентрация диоксида углерода CO<sub>2</sub> в воздухе жилых помещений составляет от 0,09 % до 1,23 % при фоновом содержании в атмосферном воздухе 0,03 %, которое наблюдалось в 18 % случаев.

Концентрация метана находится в диапазоне от 0,01 % до 0,04 %. Концентрация кислорода составляет от 20,2 до 21 %, в среднем 20,8 %, что незначительно отличается от среднего содержания в атмосфере [3], пониженные значения встречаются в 3 % случаев.

### 1.2. Оперативные измерения в жилых помещениях при возникновении случаев «сонного» синдрома

Для выявления возможной связи между случаями «сонного» синдрома и газовым составом атмосферного воздуха были проведены оперативные измерения концентрации газов (CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) в жилых помещениях, где проживали или находились пострадавшие в день заболевания.

*Объект исследований.* Объектом исследований являлся воздух в жилых помещениях, где проживали или находились пострадавшие в день заболевания.

*Методика проведения работ.* Для проведения оперативных измерений с жителями села и сотрудниками Минздрава поддерживалась связь, для сообщения о пострадавших. Измерения проводились в домах, где находились пострадавшие во время заболевания «сонным» синдромом, в период, не более чем через 30 минут с момента обнаружения пострадавших. Для проведения измерений использовался портативный газоанализатор «Комета-М». В каждом доме проведено одно измерение на высоте 1 м.

*Результаты исследований и обсуждение.* В таблице 2 приведены результаты оперативных замеров. Концентрация угарного газа в среднем была на уровне 9,8 мг/м<sup>3</sup>, что в два раза превышает норматив для жилых помещений – 5 мг/м<sup>3</sup>. Данная концентрация соответствует среднему уровню содержания угарного газа по селу (таблица 2). Максимальное значение составило 54 мг/м<sup>3</sup>.

Концентрация диоксида углерода в среднем в 12 раз больше фонового содержания в атмосферном воздухе – 0,03 % и в 3 раза больше среднего значения по селу. Максимальное значение составило 0,93 %.

Таблица 2. Результаты оперативных измерений при возникновении случаев «сонного» синдрома

№ п/п	Место	CO, мг/м <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> , %	O <sub>2</sub> , %
1	кафе Уют	2	0,12	20,4
2	ул. Степная 6/2	15	0,33	20,9
3	ул. Степная 8/2	13	0,36	20,7
4	Ленина 10	54	0,93	19,8
5	Мира 10/1	4	0,15	19,8
6	Мира 3/2	4	0,11	20
7	Гагарина 23	5	0,15	20,5
8	Ленина 11/2	9	0,42	20,8
9	Строительная 8/1	11	0,45	20,7
10	сторожка к/х "Асмади"	7	0,33	20,8
11	Строительная 15/1	9	0,33	20,6
12	к/х "Асмади"	2	0,15	20,6
13	Строительная 3/2	10	0,45	20,6
14	Ленина 11/2	2	0,24	20,9
15	офис к/х "Асмади"	2	0,24	20,7
16	Гагарина 17	14	0,84	20,3
17	Ленина 14/1	4	0,54	19,8
СРЕДНЕЕ		9,8	0,36	20,5

Содержание кислорода было несколько ниже среднего по селу, установленного в ходе предыдущего обследования. Минимальное значение концентрации кислорода составило 19,8 %. В одном из домов (по ул. Ленина 10) зафиксировано наихудшее качество атмосферного воздуха одновременно по трем показателям.

Таким образом, в помещениях, где находились / проживали пострадавшие от «сонного» синдрома, установлено повышенное содержание углекислого газа и пониженное содержание кислорода. Содержание угарного газа сопоставимо со средними значениями в домах по селу.

### 1.3. Исследование изменения состава атмосферного воздуха в жилых помещениях при использовании печного отопления

По результатам работ в воздухе жилых помещений выявлены повышенные значения CO. Для оценки вклада угарного газа от печей в общую концентрацию CO, а также CO<sub>2</sub> проведены исследования суточной динамики концентрации газов.

*Объект исследований.* Объектом исследований является воздух жилых помещений с. Калачи.

*Методика проведения работ.* Для проведения работ выбрано 4 жилых помещения по адресам: Ключевая 5-1, Школьная 7, Строительная 5-1 и Мира 14-2. Для проведения измерений использовался портативный газоанализатор «Комета-М». Проведены измерения на высоте 1 м, в местах наиболее частого пребывания жителей (комната с печью), с интервалом 30 минут в течение 48 часов, в среднем. Топка печей осуществлялась каменным углем, розжиг – дровами. Печи были старого образца, изготовлены в советское время из кирпичной кладки с при-



ставкой для приготовления пищи. Защитным покрытием печей являлась штукатурка с известковой покраской. В некоторых случаях наблюдались дефекты в покрытии – трещины, сколы. Измерения проведены в зимний период (январь-февраль).

*Результаты исследований.* Диаграмма изменения концентраций CO приведена на рисунке 1.

Согласно полученным данным динамика концентрации угарного газа в разных жилых помещениях имеет схожий характер. В течение суток наблюдается два участка повышенных значений, связанных с двукратной топкой печи в утренние (8:00-9:00) и вечерние часы (19:00-20:00) (рисунок 2).

Средняя концентрация в помещениях не превышает 5 мг/м<sup>3</sup>, при этом встречаются значения концентрации до 13 мг/м<sup>3</sup> (таблица 3).

Таблица 3. Диапазоны концентраций газов в исследуемых жилых помещениях

Адрес	CO, мг/м <sup>3</sup>		CO <sub>2</sub> , %		O <sub>2</sub> , % об.	
	макс.	ср.	макс.	ср.	мин.	ср.
Ключевая 5-1 (а)	13	3,5	0,21	0,10	20,6	21,1
Ключевая 5-1 (б)	11	2,4	0,37	0,12	20,5	21,1
Ленина 14-1	11	4,3	1,2	0,08	20,6	21,0
Степная 8-2	5	2,3	0,7	0,07	20,8	21,0
Строительная 5-1	6	2,2	0,17	0,08	20,1	21,0
Школьная 7-1	6	2,2	0,3	0,09	20,6	21,0

Диаграмма изменений концентраций CO<sub>2</sub> приведена на рисунках 3–4.

Во всех случаях можно отметить более высокие уровни в дневной период и низкие в ночной.

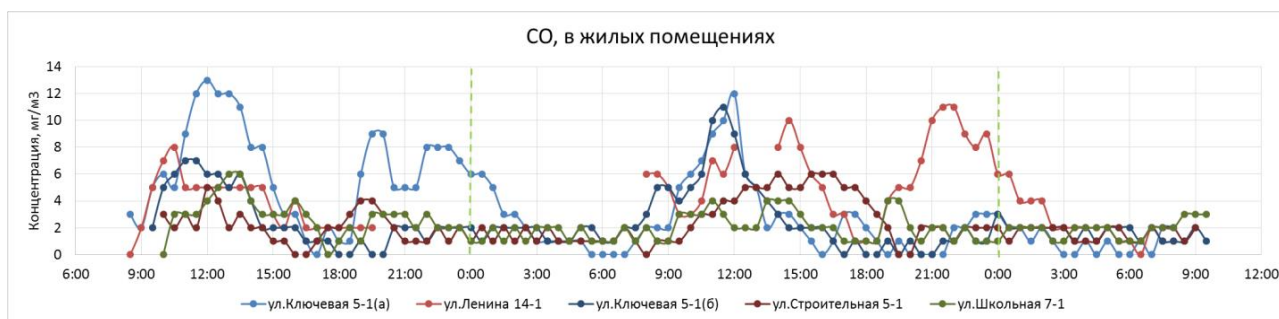


Рисунок 1. График изменения концентрации CO

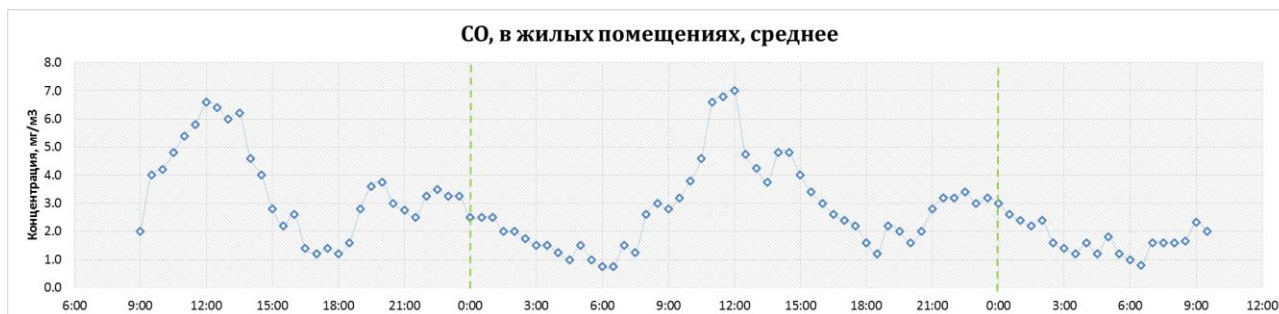


Рисунок 2. Усредненная кривая изменения концентрации CO в жилых помещениях

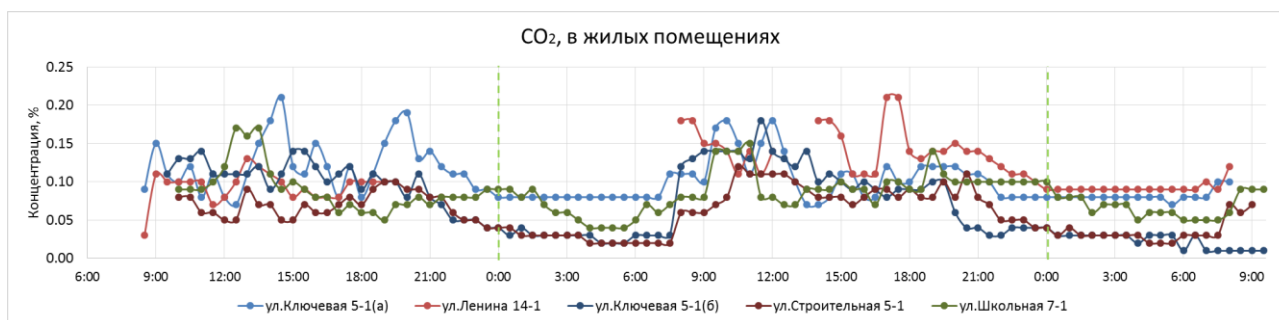


Рисунок 3. График изменения концентрации CO<sub>2</sub>

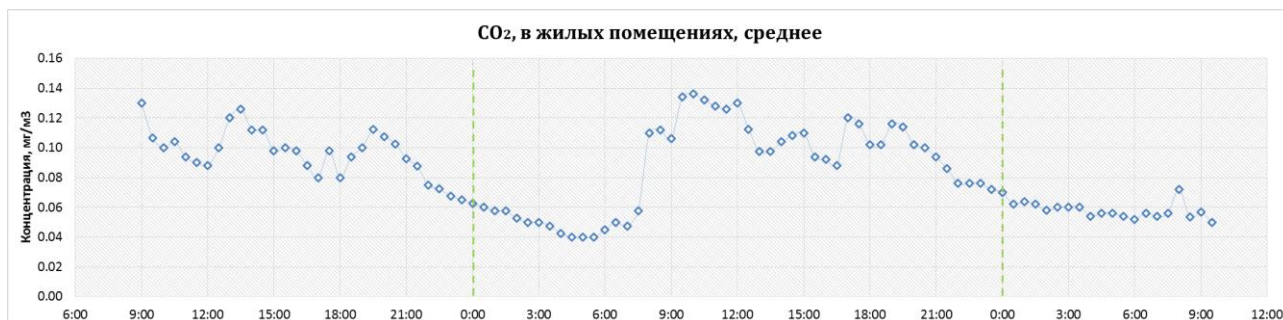


Рисунок 4. Усредненная кривая изменения концентрации CO в жилых помещениях

Таким образом в дневное время деятельность человека в жилом помещении связана с выделением CO<sub>2</sub>: дыхание, приготовление пищи на газовых плитах, печное отопление.

Значительного влияния на содержание кислорода в атмосферном воздухе в результате топки печи не выявлено.

## 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗОВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ НА ТЕРРИТОРИИ СЕЛА

В ходе предыдущих исследований установлено, что возможной причиной проявления «сонного» синдрома является эпизодическое неудовлетворительное качество атмосферного воздуха. В жилых домах установлены повышенные концентрации CO и CO<sub>2</sub>, связанные с топкой печи и приготовлением пищи. Другим фактором химической нагрузки на жителей села Калачи является качество атмосферного воздуха на территории села (улица). Для исследования данного фактора проводились ежедневные измерения концентрации газов в контрольных точках.

### 2.1. Ежедневные наблюдения за составом атмосферного воздуха на территории села

В данной задаче поставлена цель – получить сведения о содержании кислорода, угарного газа и диоксида углерода в атмосферном воздухе на открытой местности села.

**Объекты исследований.** Объектом исследований являлся атмосферный воздух на территории села Калачи.

**Методика проведения работ.** Исследование уровня концентраций газов на открытой местности проводилось в 28 точках мониторинга, расположенных на перекрестках села. Периодичность измерений – один раз в сутки, период измерений - в течение двух месяцев. Для проведения измерений использовался портативный газоанализатор «Комета-М». Период проведения работ: сентябрь-ноябрь.

**Результаты работ.** Проведено 895 измерений концентрации газов. На рисунках 5–7 приведены диаграммы изменения концентрации газов во всех точках. В среднем наблюдаются значения концентрации газов, близкие к составу нормального атмосферного воздуха [4] (таблица 4). Максимальные значения концентрации CO не превышают максимально разовые нормативные значения 5 мг/м<sup>3</sup>. Концентрация CO<sub>2</sub> превышает фоновый уровень в 4 раза, минимальная концентрация кислорода – 19,3 %, что значительно ниже среднего содержания в атмосферном воздухе.

Таблица 4. Обобщение результатов

Значение	CO, мг/м <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> , %	O <sub>2</sub> , % об.
Среднее	0,2	0,03	20,5
Максимум (минимум для O <sub>2</sub> )	4,0	0,12	19,3

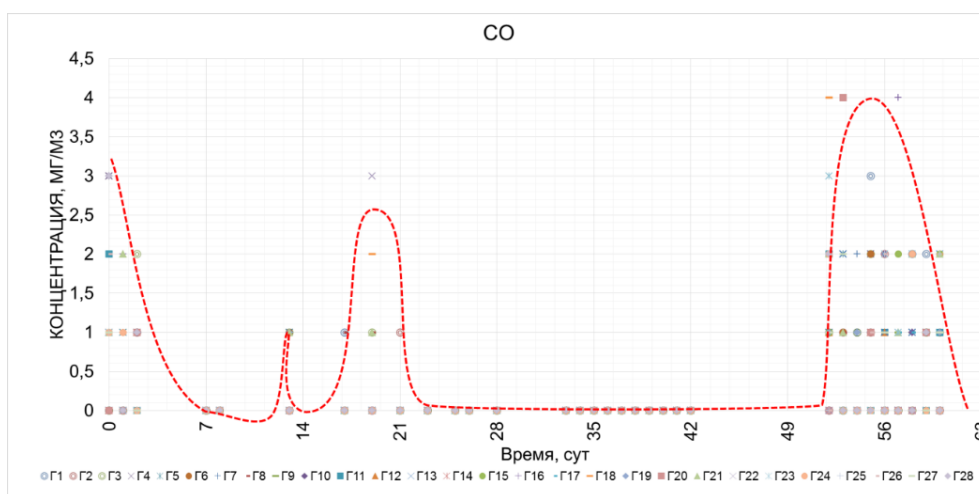


Рисунок 5. Результаты измерения концентрации CO

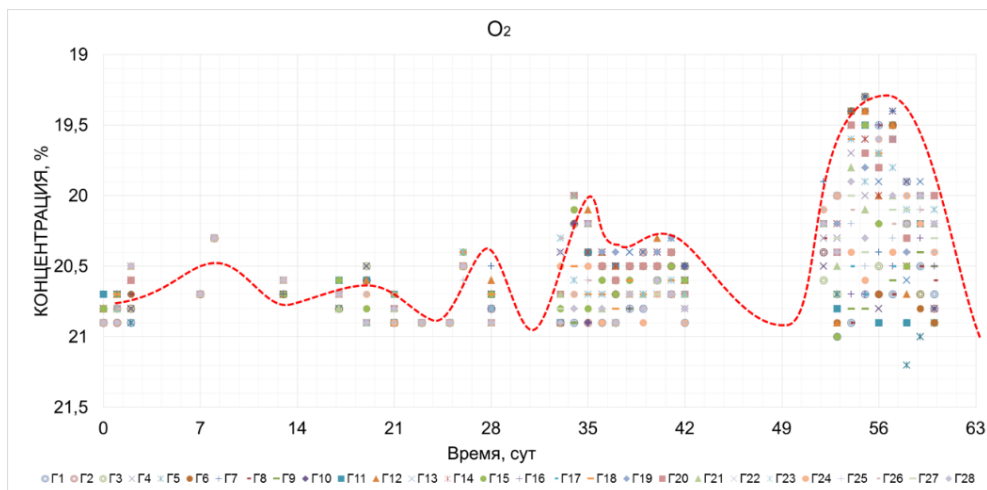


Рисунок 6. Результаты измерения концентрации  $O_2$

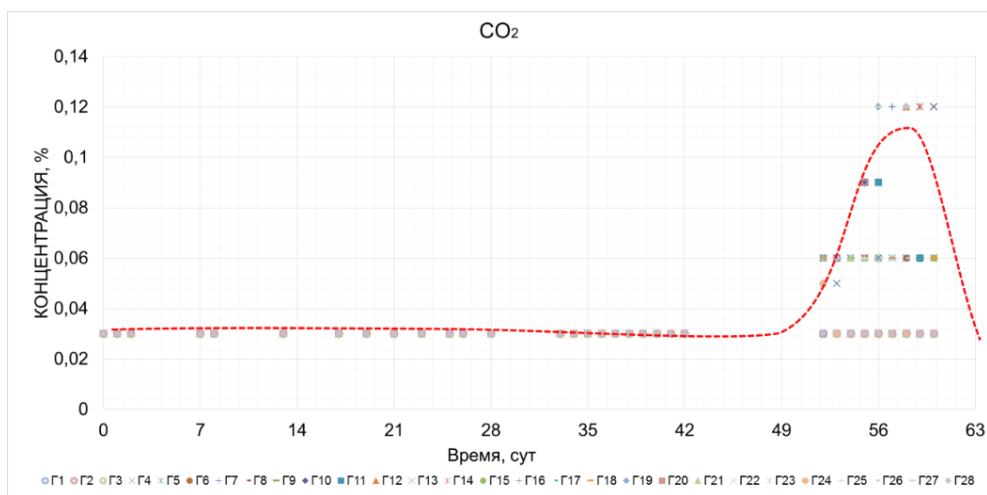


Рисунок 7. Результаты измерения концентрации  $CO_2$

Из вышеприведённых рисунков можно выделить периоды с повышенными концентрациями газов длительностью до 8 суток. В интервале измерений от 52 до 60 дня от начала измерений наблюдается повышение концентрации  $CO$  и  $CO_2$  до  $4 \text{ мг/м}^3$  и  $0,12 \%$  соответственно, при одновременном снижении концентрации кислорода до  $19,3 \%$ .

Выявленные случаи изменения состава атмосферного воздуха сопоставлены со вспышками «сонного» синдрома, сведения о которых предоставлены ЦРБ г. Есиль. На рисунке 8 приведены средние значения концентрации газов и количество случаев «сонного» синдрома.

В период вспышки случаев «сонного» синдрома наблюдается изменение состава атмосферного воздуха: содержание кислорода снижается, углекислого и угарного газа — увеличивается.

## 2.2. Ежедневные измерения концентрации газов ( $CO$ , $CO_2$ , $CH_4$ , $O_2$ ) в контрольных точках

Поскольку в атмосферном воздухе села Калачи установлены факты нестабильности газового состава,

для изучения сезонной вариативности организованы длительные наблюдения.

**Объекты исследований.** Объектом исследований является атмосферный воздух на территории села и прилегающем участке.

**Методика проведения работ.** Измерения концентрации газов проводились ежедневно 2 раза в сутки (8:00 и 20:00), с мая по ноябрь 2015 года. Количество точек мониторинга — 9. Схема расположения точек приведена на рисунке 9. Для проведения измерений использовались портативные газоанализаторы «Комета-М» и «Полар-2». Газоанализатор «Полар-2» позволяет определять компоненты  $CO$  ( $1-200 \text{ мг/м}^3$ ),  $CO_2$  ( $0,01-5$ ),  $O_2$  ( $0-25 \%$ ),  $CH_4$  ( $0,01-5$ ).

**Результаты исследований.** Среднее содержание угарного газа в атмосферном воздухе за период наблюдений составило  $0,1 \text{ мг/м}^3$ . Концентрация угарного газа ( $CO$ ) в атмосферном воздухе в период с мая по июль имеет повышенные значения, с максимумом  $15 \text{ мг/м}^3$ . Спад содержания угарного газа наблюдался в период с апреля по июль.

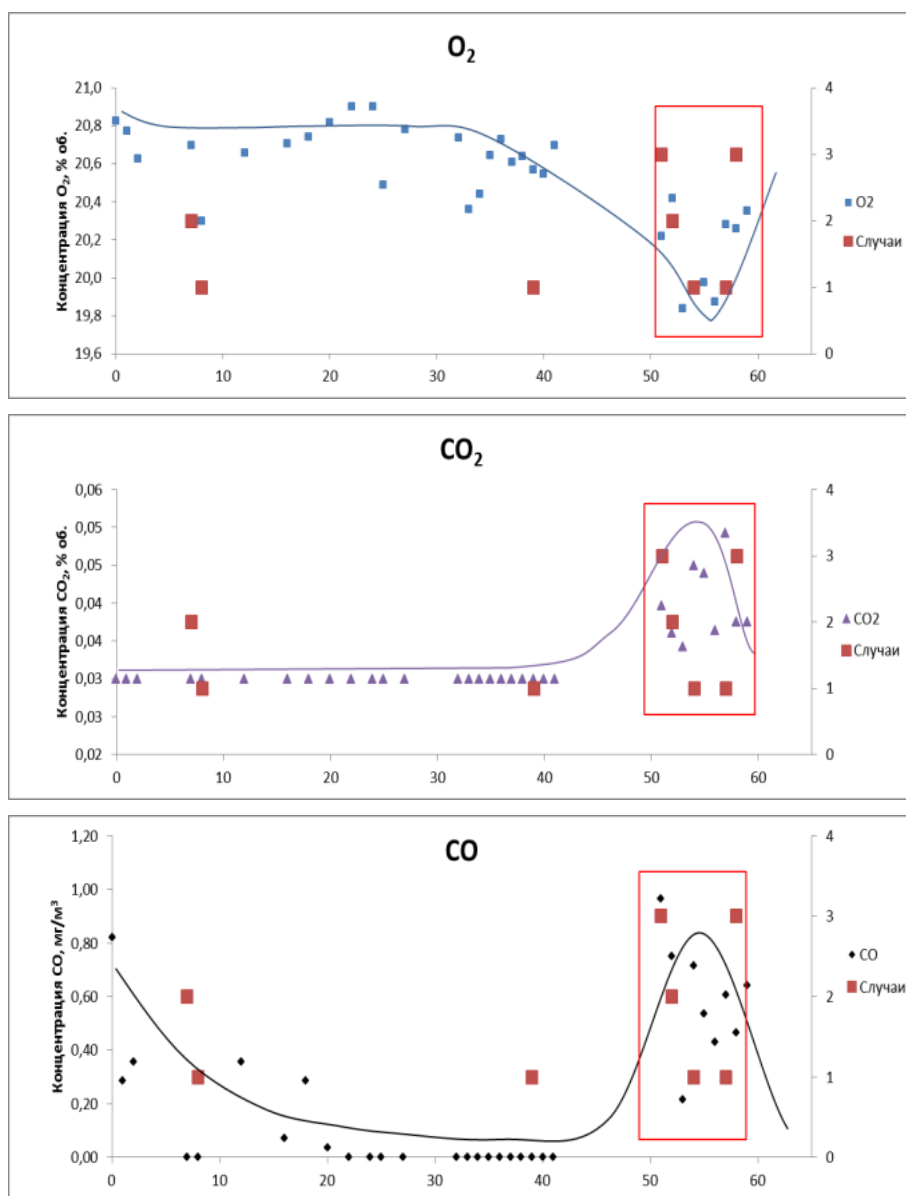


Рисунок 8. Сопоставление усреднённых концентраций газов со случаями синдрома



Рисунок 9. Схема расположения контрольных точек

Среднее содержание диоксида углерода в атмосферном воздухе за период наблюдений составило 0,03 %, что соответствует среднему содержанию углекислого газа в атмосферном воздухе [4]. Можно выделить 4 пика повышения концентрации диоксида углерода, с максимальными значениями 26 мая, 30 июня, 10 сентября, 12 октября, 5 ноября.

Среднее содержание кислорода в атмосферном воздухе за период наблюдений составило 21 %. 11 мая, 24 мая и 7 ноября отмечены наиболее низкие концентрации кислорода (20,3 %) за период наблюдений. В большинстве случаев концентрация кислорода – от 20,8 % до 21 %. В целом, за период наблюдений наблюдается плавное повышение концентрации кислорода до значений 20,9–21 %.

*Обсуждение результатов.* За период наблюдений случаев заболевания «сонным» синдромом не произошло. Минимальная концентрация кислорода составила 20,3 %, в то время как в период вспышки заболеваемости «сонным» синдромом минимальная концентрация достигала 19,3 %. При этом концентрация угарного газа в некоторых случаях значительно выше, чем в периоды заболевания. Учитывая то, что вспышки «сонного» синдрома совпадали именно с одновременным повышением СО и понижением  $O_2$  можно предположить, что данное сочетание имеет ключевую роль среди факторов возникновения болезни.

### 3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА с. КАЛАЧИ

Для определения газового состава атмосферного воздуха села Калачи с возможностью определения присутствия органических загрязнителей проведены лабораторные исследования проб воздуха хроматографическим методом. В ходе работ по обследованию села Калачи отобрано 58 проб воздуха для проведения хроматографического анализа.

*Объекты исследований.* Объектом данного исследования являлся воздух с открытой местности и воздух жилых помещений села Калачи.

Места проведения отбора проб:

- в контрольных точках на территории села;
- в контрольных точках в помещениях;
- в местах возникновения случаев «сонного» синдрома;
- на участках расположения мусорных свалок.

*Методика проведения работ.* Отбор проб газа производился в одноразовые пакеты и стеклянные пипетки для отбора проб газа. При отборе использовался сухой вакуумный насос. Время между отбором проб и их анализом не превышало 14 дней.

Анализ отобранных проб воздуха проведен на хроматографическом комплексе Хромос ГХ-1000 №1050 и №1054. Измерения проводились с помощью газового хроматографа «Хромос ГХ-1000 в составе: насадочная колонка (1 – 1 м, Хромосорб Р-АВ), метанатор, ПИД. Определяемые компоненты: СО,  $CO_2$ ,  $CH_4$ , углеводороды  $C_1-C_5$  ( $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$ ,  $C_4H_{10}$ ,  $C_5H_{12}$ ).

*Результаты исследований и обсуждение. Контрольные точки.* Минимальная концентрация СО, измеренная в контрольных точках –  $7,0 \text{ мг/м}^3$ , максимальная –  $40,6 \text{ мг/м}^3$ , что превышает ПДК в два раза. В 9 пробах из 11 с контрольных точек наблюдается незначительное превышение среднего содержания в атмосфере  $CO_2$ . Минимальная концентрация  $CO_2$  составляет 0,029 %, максимальная – 0,040 %. Концентрация  $CH_4$  ниже среднего значения в атмосфере. Концентрации определяемого ряда органических веществ ( $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$ ,  $C_4H_{10}$ ,  $C_5H_{12}$ ) – ниже предела обнаружения (<0,0004 %).

*Точки постоянного наблюдения.* Повышенное содержание  $CO_2$  наиболее вероятно связано с работой газовых плит, поскольку  $CO_2$  является основным продуктом горения. Концентрации определяемого ряда органических веществ ( $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$ ,  $C_4H_{10}$ ,  $C_5H_{12}$ ) – ниже предела обнаружения (<0,0004 %).

*Места возникновения случаев «сонного» синдрома.* В домах жителей, подверженных случаям «сонного» синдрома, превышения ПДК по СО не обнаружено. Минимальная концентрация СО составляет менее  $1,2 \text{ мг/м}^3$ , максимальная –  $7,0 \text{ мг/м}^3$ . Концентрация  $CH_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$ ,  $C_4H_{10}$ ,  $C_5H_{12}$  составила <0,0004 %, в одном случае содержание  $C_4H_{10}$  находилось на уровне 0,0006 %).

Во всех пробах из домов жителей, подверженных «сонному» синдрому, обнаружено повышенное содержание диоксида углерода. Минимальная концентрация  $CO_2$  составляет 0,03 %, максимальная – 1,66 %. В среднем, в этих домах концентрация  $CO_2$  была втрое выше среднего значения для домов села Калачи.

*Точки расположения мусорных свалок.* По результатам анализа проб с точек расположения свалок мусора концентрация СО не превысила ПДК, содержание компонентов  $CH_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$ ,  $C_4H_{10}$ ,  $C_5H_{12}$  находилось на уровне ниже предела обнаружения (<0,0004 %). В 13 пробах из 17 наблюдается повышенное содержание  $CO_2$ . Минимальная концентрация  $CO_2$  составляет 0,03 %, максимальная – 0,06 %.

Также при анализе проб из села Калачи на некоторых хроматограммах были обнаружены вещества, предположительно, органического ряда ( $C_5-C_{10}$ ), которые идентифицировать не удалось (рисунок 10).

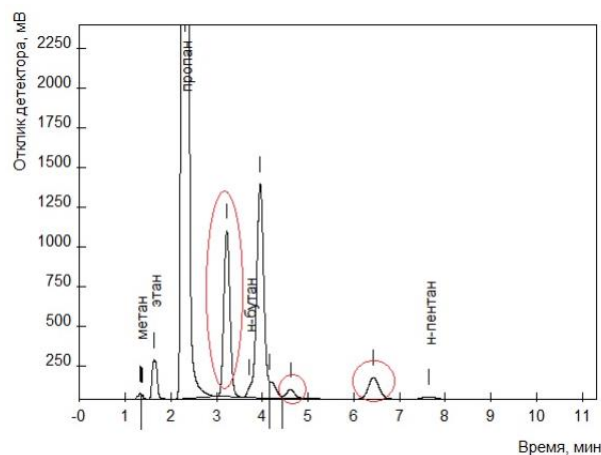


Рисунок 10. Хроматограмма пробы воздуха с неидентифицированными компонентами

#### 4. СОВМЕСТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ с РГП «КАЗГИДРОМЕТ»

В ходе работ по обследованию села Калачи РГП НЯЦ РК и РГП «Казгидромет» было проведено совместное исследование по определению содержания вредных веществ в атмосферном воздухе села Калачи.

**Методика проведения работ.** Для проведения измерений использовался газоанализатор ГАНК-4. Измерения проводились вблизи средней школы села Калачи каждые 4 часа в дневное время суток в период с 26.12.2014 по 9.01.2015 года.

**Результаты исследований.** В таблице 5 приведены результаты измерений концентраций взвешенных частиц, оксида углерода, аммиака, оксида и диоксида азота, диоксида серы.

Таблица 5. Измеренные концентрации газов вблизи школы с. Калачи и их ПДК, мг/м<sup>3</sup>

Примесь	Средняя концентрация		Максимально разовая концентрация	
	мг/м <sup>3</sup>	в ед. ПДК <sub>с.с.</sub>	мг/м <sup>3</sup>	в ед. ПДК <sub>м.р.</sub>
Взвешенные вещества (пыль)	0,06	0,4	0,22	0,4
Оксид углерода	0,96	0,3	1,19	0,2
Аммиак	0,012	0,3	0,026	0,13
Оксид азота	0,006	0,1	0,015	0,04
Диоксид азота	0,004	0,09	0,037	0,4
Диоксид серы	0,005	0,095	0,031	0,06

Согласно представленным данным содержание определяемых компонентов находилось в допустимых пределах. Однако стоит отметить наличие взвешенных веществ, оксида углерода и оксида азота, содержание которых составляло около 20 % от ПДК.

В атмосферном воздухе содержание углеводородов ряда С<sub>1</sub>–С<sub>10</sub> достигает 35 мг/м<sup>3</sup> (рисунок 11).

Сопоставляя полученные результаты совместных исследований с результатами РГП НЯЦ РК, можно предполагать наличие загрязнителей С<sub>6</sub>–С<sub>10</sub>, поскольку в большинстве случаев по результатам РГП НЯЦ РК загрязнителей С<sub>1</sub>–С<sub>5</sub> не выявлено.

#### Выводы

Исследование распределения концентраций газов в жилых помещениях на территории села показывает, что в 62 % случаев концентрация угарного газа превышает максимально разовый ПДК. Повышенные концентрации угарного газа наблюдаются по всей территории села Калачи.

В жилых помещениях прослеживается общая зависимость изменения содержания угарного газа и диоксида углерода согласно времени использования источников его выделения: печей и газовых плит. В дневное время наблюдаются увеличения концентраций газов, в ночное – снижение. Средние уровни содержания СО в течение суток в обследованных домах составляют для СО – от 2,2 до 4,3 мг/м<sup>3</sup>, для СО<sub>2</sub> – от 0,07 до 0,12 %.

Оперативные измерения концентраций газов по адресам расположения заболевших выявили повышенные значения углекислого газа – 0,36 % в среднем. Среднее содержание кислорода находилось на уровне 20,5, минимальное – 19,8 %. Среднее содержание угарного газа составило 9,8 мг/м<sup>3</sup>, максимальное – 54 мг/м<sup>3</sup>, что значительно выше нормативных значений.

Ежедневные измерения концентрации газов на территории села Калачи показали наличие временных интервалов, когда наблюдается повышение концентраций СО и СО<sub>2</sub> до 4 мг/м<sup>3</sup> и 0,12 % соответственно, при одновременном снижении концентрации кислорода до 19,3 %.

Длительные наблюдения за концентрацией газов в атмосферном воздухе в период отсутствия случаев «сонного» синдрома показали отсутствие одновременного повышения концентрации угарного газа и понижение концентрации О<sub>2</sub>.

Лабораторный анализ проб газа, отобранных в жилых помещениях показал повышенные значения концентрации СО и СО<sub>2</sub>. Установлено присутствие углеводородного загрязнения.

Параллельные измерения содержания углеводородов в атмосферном воздухе, проведенные РГП «Казгидромет» и РГП НЯЦ РК, позволяют предполагать наличие органических загрязнителей ряда С<sub>1</sub>–С<sub>10</sub> в атмосферном воздухе села Калачи.

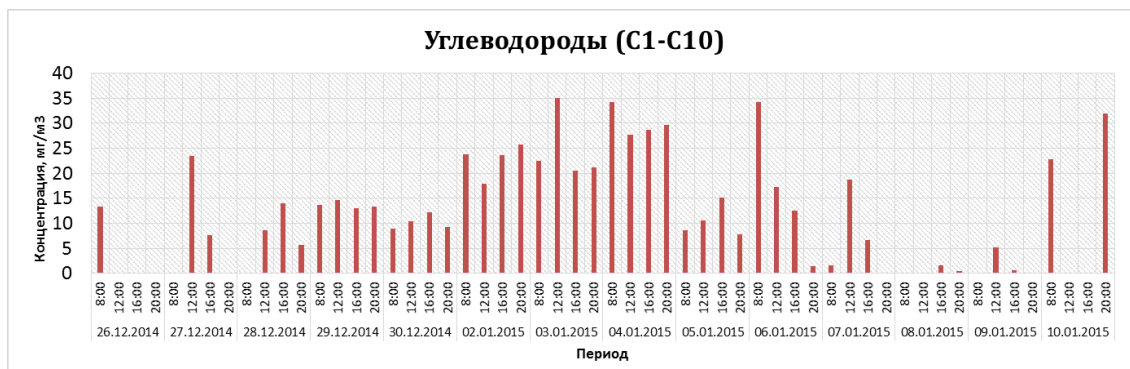


Рисунок 11. Динамика концентраций углеводородов вблизи школы села Калачи

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам предварительных исследований сделан вывод о нестабильности газового состава атмосферного воздуха в селе Калачи.

Полученные результаты позволяют предположить, что возможной причиной возникновения «сонного» синдрома может являться периодическое воздействие повышенных концентраций угарного

газа, углекислого газа и неизвестного компонента (предположительно углеводородов ряда  $C_6-C_{10}$ ) при одновременном снижении концентрации кислорода во вдыхаемом воздухе.

*Коллектив исследователей выражает благодарность РГП «Казгидромет» за предоставленные результаты исследований.*

### ЛИТЕРАТУРА

1. «Санитарно-эпидемиологические требования к атмосферному воздуху в городских населённых пунктах, почвам и их безопасности, содержание территории городских и сельских населённых пунктов, условиям работы с источниками физических факторов, оказывающих воздействие на человека», утверждённые постановлением Правительства Республики Казахстан от «25» января 2012 года №168.
2. Киселев А.А., Кароль И.Л. // Известия РАН. Сер. Физика атмосферы и океана. 1998. Т.34. №4. С.490-497.
3. Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды. М., «Недра», 1976, 248 с.
4. <http://biofile.ru/bio/22282.html>.

## КАЛАЧИ А. АТМОСФЕРАЛЫҚ АУАСЫНЫҢ ЛАСТАНУЫН ЗЕРТТЕУ

С.Н. Лукашенко, В.В. Романенко, В.И. Супрунов, Р.А. Садыков, С.Б. Субботин

*ҚР ҰҰО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан*

Экологиялық ахуалды кешенді зерттеулердің бір бөлігі болып табылатын бұл жұмыста 2014–2016 жылдар аралығындағы кезеңде Калачи а. атмосфералық ауасын зерттеу нәтижелері келтірілген. Жедел өлшеулер барысында «ұйқы» синдромының пайда болу кезеңінде тұншықтырғыш газдың нормадан тыс ( $54 \text{ mg/m}^3$  дейін) бірнеше мәрте орын алуы тіркелді.

Жұмыс нәтижелері бойынша, «ұйқы» синдромы жағдайы көрініс берген тұрғынжай бөлмелерінің ауасында газдардың ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  және болжаммен көмірсутегі қатарындағы құрауыштың) жоғарғы мәнде шоғырланумен белгілі бір байланысы анықталды. «Ұйқы» синдромы өршіген кезде атмосфералық ауа құрамында келесі өзгерістер:  $\text{O}_2$  құрамының төмендеуі,  $\text{CO}$  және  $\text{CO}_2$  шоғырлануының артуы орын алатыны белгілі болды. Зерттеу нәтижелерінің талдамаларынан  $C_6-C_{10}$  құрауыштарымен көмірсутегілік ластану нышандары байқалды.

*Кілт сөздер:* атмосфера, ластану, «ұйқы синдромы», шоғырлану, шекті-рауалы шоғырлану, мониторинг, талдама, көмірсутегі.

## STUDY OF THE ATMOSPHERIC AIR CONTAMINATION IN KALACHI SETTLEMENT

S.N. Lukashenko, V.V. Romanenko, V.I. Suprunov, R.A. Sadykov, S.B. Subbotin

*Branch "Institute of Radiation Safety and Ecology" of RSE "NNC RK", Kurchatov, Kazakhstan*

This paper being a part of comprehensive studies of the ecological situation, provides the research results for the atmospheric air in Kalachi settlement in the 2014–2016. In course of rapid measurements conducted at the time of the «sleeping» syndrome occurrence several cases of the excessive carbon monoxide content (up to  $54 \text{ mg/m}^3$ ) were registered.

Upon the results of works some relation was found between the excessive concentration of gases ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  and a component, presumably from of a hydro carbonate rage) in the indoor air of living premises and the cases of the «sleeping» syndrome occurrence. It was found that for in periods when the outbreaks of «sleeping» syndrome took place the composition of atmospheric air have been changing as follows, i.e. decrease in  $\text{O}_2$  concentration and increase in  $\text{CO}$  and  $\text{CO}_2$  concentration. Upon the results of researches the signs of hydrocarbonate contamination with  $C_6-C_{10}$  components were revealed.

*Key words:* atmosphere, contamination, "sleeping syndrome", concentration, maximum permissible concentration, monitoring, analysis, hydrocarbonates.

УДК 577.4:614.876:546.296

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЛА КАЛАЧИ АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Романенко В.В., Лукашенко С.Н., Умаров М.А., Гарбуз Ю.В., Осинцев А.Ю., Шатров А.Н.

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

В статье приводятся результаты исследований радиационной обстановки в селе Калачи. На территории с. Калачи радиоактивного загрязнения не выявлено. Установленные уровни внешней дозы от природного гамма-излучения составляют в среднем 1,2 мЗв/год. В объектах окружающей среды (воздух, почва, вода питьевая и поверхностные водотоки, продукты питания) села Калачи содержание техногенных радионуклидов не выявлено, либо оно находится на уровне фона глобальных выпадений; содержание естественных радионуклидов является типичным для Республики Казахстан.

*Ключевые слова:* село Калачи, гамма-излучение, дозиметрия, естественные радионуклиды, техногенные радионуклиды, источники ионизирующего излучения.

### ВВЕДЕНИЕ

В 2013 году в средствах массовой информации стали появляться сообщения о случаях возникновения у жителей села Калачи Акмолинской области неизвестного заболевания, именуемого в настоящее время «синдром Калачей». Сообщения о данной проблеме стали появляться как в отечественной, так и в зарубежной прессе [1–4]. Исследования санитарно-эпидемиологической и токсикологической службы, а также медицинское обследование пострадавших, показали отсутствие факторов, которые могли бы вызвать заболевание пострадавших.

Поскольку явные причины отсутствовали, в обществе укрепилось мнение, что данное заболевание может быть связано с наличием поблизости бывшей разработки месторождения урана, которая велась там в советское время [5]. Возможное воздействие радиации в селе стали рассматривать как один из главных факторов оказывающий вредное влияние на здоровье жителей села Калачи.

Ряд специалистов из Минздрава и некоторые ученые [6–8] сошлись во мнении, что причиной заболевания жителей является наличие высоких концентраций радона, несмотря на то, что мировой науке не известны случаи такого влияния радона на организм человека [9–11].

Для изучения радиационного фактора на территории села проведены исследования, результаты которых представлены в данной работе.

### *Общие сведения о селе Калачи*

Село Калачи (каз. Калачи) – село в Есильском районе Акмолинской области Казахстана, входит в состав Красногорской поселковой администрации. Расположено на берегу р. Ишим. Находится в 60-ти км выше по течению г. Есиль.

Сельское хозяйство – одна из главных отраслей экономики региона. Основное направление в сельском хозяйстве области – зерновое производство.

В 1999 году население села составляло 814 человек (387 мужчин и 427 женщин). По данным переписи 2009 года, в селе проживало 647 человек (323

мужчины и 324 женщины). Географическое положение: 52°15'12.59" с. ш. 66°32'12.66" в. д. [12].

Вблизи села Калачи расположен поселок Красногорский, Красногорский урановый рудник и останки многочисленных объектов и сооружений, входивших в основном, в инфраструктуру предприятий по добыче урана. Поселок городского типа Красногорский образован в 1964 году на базе поселка ГРП – 47. В то же время появилось рудоуправление Целинно-горнотехнического комбината г. Степногорска (1957) по добыче урансодержащих руд в составе первого ГУ Министерства среднего машиностроения СССР и являлось градообразующим для ПГТ Красногорский.

Основой рудоуправления № 4 были рудники 1 и 2, запасы которых отработаны к 1980 году. С 1960 по 1990 гг. поблизости от села Калачи добывалась урановая руда. С распадом СССР производство урана ликвидировали, в начале 2000-х в рамках государственной программы шахты законсервированы. В 1968 году на базе Ишимского месторождения, открытого в 1956 году и переданного в эксплуатацию в 1963 году, создан Рудник №1. Рудник №2 был создан в 1971 году на базе Центрального месторождения, являющегося одним из участков Ишимского месторождения, расположенного в 1,5 км от Рудника №1.

После полной отработки балансовых запасов месторождений в 1980 году принято решение о ликвидации обоих рудников. В связи с этим в 1979 г. ВНИПИ Промтехнологии разработан рабочий проект «Рекультивационные мероприятия промплощадок шахт рудников №1 и №2». В 1981–83 гг. по этому проекту ликвидированы горные выработки, засыпаны провалы земной поверхности, а также демонтирована часть зданий и сооружений, не задействованных на эксплуатации месторождений Шакпак, Камышовое. Рудоуправление №4 как горнодобывающее предприятие продолжало функционировать до прекращения очистных работ на руднике №3 (месторождение Шакпак) в 1992 году, когда очистные



работы прекратились [13]. Таким образом, территория, прилегающая к селу Калачи, на которой более 30 лет назад проводилась добыча урана, рекультивирована, а объекты инфраструктуры рудника ликвидированы (за исключением фрагментов некоторых зданий).

### 1. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью получения достоверных сведений о радиационной обстановке в селе Калачи осуществлялись работы по трем направлениям (таблица 1).

Таблица 1. Направления проведения работ

№	Направление	Исследуемые объекты и параметры
1	Исследование интегральных радиационных параметров в с. Калачи.	– Мощность экспозиционной дозы (МЭД) и бета-излучение в жилых помещениях; – Дозы от внешнего гамма-излучения.
2	Исследование содержания радионуклидов в объектах окружающей среды.	– Активность естественных и техногенных радионуклидов в пробах грунта (с территории села и прилегающих участков); продуктах питания; воде (питьевая и с различных водотоков); – Активность техногенных радионуклидов в организме жителей села.
3	Оценка радиационной опасности техногенных объектов.	– МЭД и бета-излучение на объектах инфраструктуры; – Активность радионуклидов в объектах окружающей среды.

Выполнение работ осуществлялось согласно руководствам эксплуатации оборудования, по стандартным методикам отбора проб, измерения радиационных параметров и лабораторных анализов.

## 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ТЕРРИТОРИИ СЕЛА КАЛАЧИ

### 2.1. Объект исследований

Для оценки интегральных радиационных параметров села проведено обследование жилых домов.

Дома представляют собой одноэтажные постройки, выполненные из кирпича либо глины. В большинстве случаев, каждый дом используется на два хозяина – имеет отдельные входы и перегородку, разделяющую дом на две половины. Обследовано 157 помещений.

Для поиска возможных источников ионизирующего излучения (ИИИ) обследованы дворы и улицы с. Калачи и рядом расположенного поселка Красногорский. Площадь обследованной территории составила ~ 0,8 км<sup>2</sup>.

### 2.2. Схема проведения работ

В ходе работ проводились измерения мощности эквивалентной дозы (МЭД) гамма-излучения и бета-излучения. Измерение МЭД в жилых помещениях проводилось в комнатах наиболее частого пребывания жителей, на расстоянии 1 м от поверхности пола. Измерение плотности потока бета-излучения проводилось в местах измерения МЭД.

Гамма-съемка на территории села Калачи и поселка Красногорский проведена в режиме «поиск» с целью выявления ИИИ, без записи текущего фона.

Для оценки доз от гамма-излучения в жилых помещениях были проведены замеры дозы с использованием 60 термолюминесцентных дозиметров. Работы проведены в два этапа. В каждом этапе было установлено по 30 дозиметров. Срок экспозиции дозиметров – 4 месяца. Дозиметры устанавливались в домах, в местах наиболее частого пребывания жителей (спальни, залы).

### 2.3. Результаты работ

#### 2.3.1. Измерение МЭД и бета-излучения

Значения МЭД в домах находились в диапазоне от 0,10 до 0,20 мкЗв/ч. На рисунке 1 показано пространственное распределение значений МЭД в поселке.

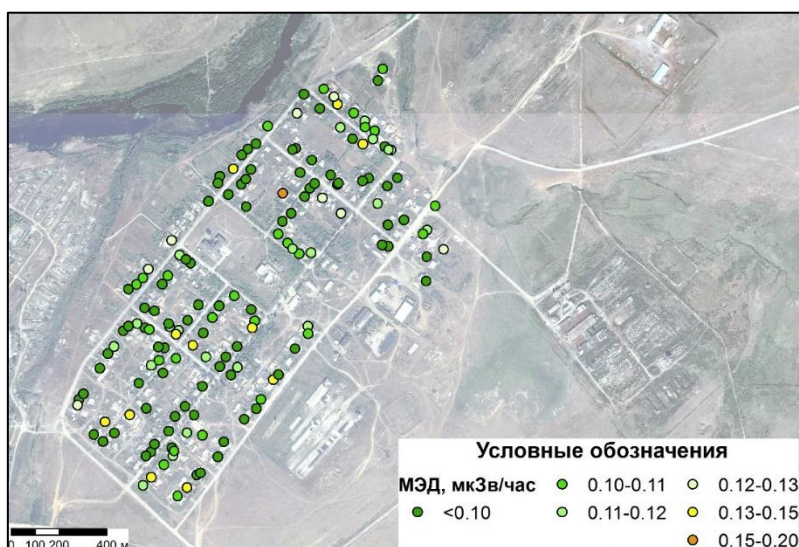


Рисунок 1. Пространственное распределение значений МЭД в селе Калачи

Пространственной закономерности распределения МЭД не наблюдалось.

По итогам измерений плотности потока бета-частиц в домах не обнаружено какое-либо поверхностное радиоактивное загрязнение. Активность бета-частиц находилась на уровне  $< 10$  част/(см<sup>2</sup>·мин).

### 2.3.2. Гамма-съемка территории села

В комнатах каждого дома, дворах и дворовых постройках проведена гамма-съемка в режиме «поиск». Участки со значениями мощности дозы выше 0,20 мкЗв/ч не выявлены. В то время как обследование территории села Калачи и поселка Красногорский в режиме «поиск» позволило установить локальные участки с повышенным гамма-фоном (таблица 2).

Таблица 2. Результаты дозиметрического обследования в режиме «поиск»

№ п/п	Место	Счет гамма-импульсов
1	Красногорский	700 CPS
2		600 CPS
3		2000 CPS
4		4000 CPS
5	Калачи	1000 CPS

В пределах всех участков найдено несколько радиоактивных фрагментов руды различных размеров (до 15×20 см). Проведенные на месте гамма-спектрометрические измерения точечных участков присутствия техногенных радионуклидов (<sup>241</sup>Am, <sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co и др.) не выявили.

### 2.3.3. Дозиметрия

Распределение дозовых нагрузок от гамма излучения в жилых помещениях по результатам дозиметрического контроля на территории села Калачи приведены на рисунке 2.

Как представлено на рисунке 2, основное количество показаний находится в пределах от 1 до 1,3 мЗв/год.

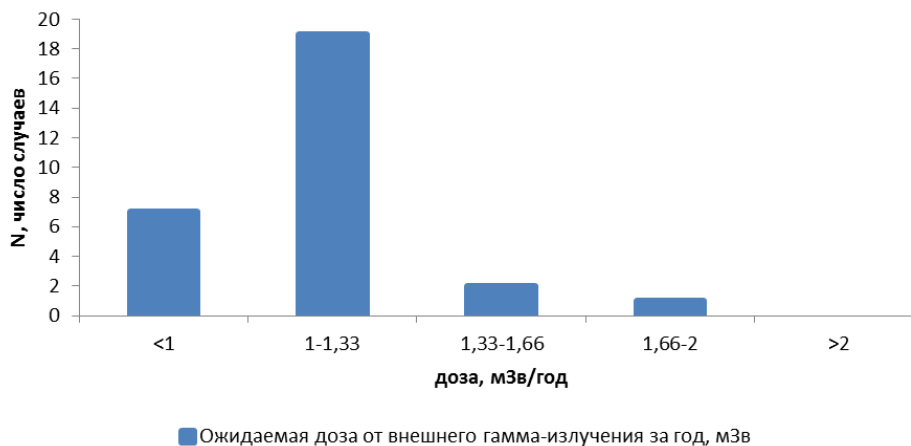


Рисунок 2. Распределение доз от внешнего облучения за счет гамма-излучения на основе показаний дозиметров

## 2.4. Обсуждение результатов оценки интегральных радиационных параметров

Согласно показаниям накопительных дозиметров мощность дозы в местах их установки была в диапазоне 0,1 до 0,21 мкЗв/ч, что подтверждается результатами измерения МЭД. Среднее значение дозы от гамма-излучения по поселку составило 1,2 мЗв/год. Таким образом, годовая эквивалентная доза от гамма-излучения не превысила 2 мЗв/год.

## 3. ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

### 3.1. Объекты исследований

Село Калачи расположено на берегу реки Ишим. Основной источник питьевой воды – подземные воды восточного прилегающего участка. Вода откачивается из скважины погружным насосом и подается в место разлива, где жители набирают ее в алюминиевые фляги (около 50 л). Часть жителей (около 10 %) имеют в домах водопровод от вышеупомянутой скважины.

Продукты питания жители в основном используют привозные, за исключением хлеба, молока, мяса, картофеля.

Для оценки уровней загрязненности искусственными радионуклидами и содержания естественных радионуклидов на территории поселка отобраны пробы воды, пищевых продуктов (мясо, молоко, картофель) и почвы. Для оценки качества продуктов проведен отбор проб мяса, жира, картофеля и молока. Отбор проб почвы проводился на территории оврага в районе моста с. Калачи – пос. Красногорский, в месте впадения талых вод оврага в р. Ишим, на берегу р. Ишим ниже места впадения талых вод из оврага, на огороде в с. Калачи, на участке расположения ствола шахты 8, на территории расположения водозаборной скважины для питьевой воды поселка. Пробы воды отобраны на территории объектов, расположенных в с. Калачи и прилегающем участке.

В качестве исследуемого материала выступали талые воды в месте впадения потока талых вод в р. Ишим, вода из стволов отработанных урановых шахт.

Дополнительно, для оценки внутреннего поступления радионуклидов обследование на содержание инкорпорированных радионуклидов прошли жители поселка.

### 3.2. Методология проведения исследований содержания радионуклидов в объектах окружающей среды

Лабораторный анализ образцов проводился для определения содержания техногенных:  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{155}\text{Eu}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{152}\text{Eu}$  и естественных радионуклидов:  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ .

Методология проведения лабораторных анализов включала следующие этапы:

1. Гамма-спектрометрический анализ проб на содержание естественных и техногенных гамма-излучающих радионуклидов.

2. Радиохимический анализ проб для определения содержания изотопов  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

3. Проведение выборочного комплексного дозиметрического обследования среди населения села Калачи.

Для обследования на наличие инкорпорированных радионуклидов проведено гамма-спектрометрическое обследование жителей, в ходе которого определено наличие искусственных радионуклидов в организме исследуемой группы в условиях низкофоновой лаборатории путем проведения прямых и косвенных дозиметрических исследований. Прямые измерения активности инкорпорированных радионуклидов проводились с использованием счетчика излучения человека (СИЧ). Косвенный метод заключался в исследовании образцов урины жителей села.

### 3.3. Результаты исследования содержания радионуклидов в объектах окружающей среды

**Вода.** В образцах воды активность техногенных радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{155}\text{Eu}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  находилась на очень низком уровне и не превысила предел обнаружения методики измерений. Повышенного содержания основных естественных радионуклидов (таких как  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{235}\text{U}$ ) в образцах воды не обнаружено.

**Почва.** Для оценки радиоактивного загрязнения исследуемой территории отобраны 6 образцов почвы и 1 образец донных отложений для лабораторного определения содержания радионуклидов. Альфа-спектрометрические измерения показали отсутствие радионуклидов  $^{239+240}\text{Pu}$  в пробах почвы. В пробах почвы содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  находится на уровне фона глобальных выпадений. Наличия других техногенных радионуклидов не выявлено.

**Продукты питания.** Гамма-спектрометрические исследования проб биологического происхождения

из села Калачи показали отсутствие техногенных радионуклидов.

**Обследование жителей с. Калачи.** Результаты гамма-спектрометрических измерений активностей  $^{241}\text{Am}$  и  $^{137}\text{Cs}$  представлены в таблицах 3–4.

Таблица 3. Результаты определения содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  в организме населения села Калачи

Место проживания	Пациент	Активность, Бк	
		$^{137}\text{Cs}$	$^{241}\text{Am}$
Поселок Калачи	№1_В.И.	< 5,9	< 8,9
	№2_А.В.	< 4,4	< 11
	№3_О.С.	< 4,2	< 11
	№4_Д.О.	< 4,0	< 11
	№5_В.В.	< 3,8	< 10

Полученные значения во всех случаях лежат ниже предела обнаружения используемого оборудования. Различные уровни определения обуславливаются индивидуальной разницей в росте и весе.

Таблица 4. Активность техногенных радионуклидов в пробах урины

Место проживания	Пациент	Активность, Бк/сутки		
		$^{137}\text{Cs}$	$^{241}\text{Am}$	$^{40}\text{K}$
с. Калачи	№1_В.И.	< 0,029	< 0,025	66 ± 13
	№2_А.В.	< 0,032	< 0,013	74 ± 15
	№3_О.С.	< 0,043	< 0,018	42 ± 8
	№4_Д.О.	< 0,026	< 0,021	46 ± 9
	№5_В.В.	< 0,025	< 0,018	68 ± 14

Анализ суточных проб урины гамма-спектрометрическим методом не выявил численных значений активностей  $^{241}\text{Am}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в суточных пробах урины (таблица 4).

Из естественных радионуклидов обнаружен  $^{40}\text{K}$ , содержание которого составило от 42 до 74 Бк/сутки, что является нормальным содержанием данного радионуклида в моче человека. Согласно литературным данным нормальное для организма человека содержание  $^{40}\text{K}$  в моче составляет порядка 42–148 Бк/сутки.

### 3.4. Обсуждение результатов исследований содержания радионуклидов в объектах окружающей среды

В результате проведенных гамма-спектрометрических анализов установлено, что в пробах почвы обследованного населенного пункта содержание  $^{40}\text{K}$  не превышает среднего значения по Казахстану, содержание других естественных радионуклидов является типичным для почв Казахстана, аномальные участки не обнаружены. Исключение составляют пробы почвы, отобранные возле ствола шахты 8 и возле лаза в ствол шахты 8. В этих пробах наблюдаются повышенные содержания радионуклидов рядов распада  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$ , что является вполне ожидаемым, т.к. в данной шахте производилась добыча урановой руды.

Естественная радиоактивность окружающей среды обусловлена изотопами тория, урана, калия и некоторыми продуктами их превращений. Максимальные и минимальные значения удельных активностей естественных радионуклидов в почвах Казахстана, а также их средние значения представлены в таблице 5.

Таблица 5. Активность естественных радионуклидов в почвах Казахстана

Пределы измерения	Удельная активность, Бк/кг		
	<sup>40</sup> K	<sup>226</sup> Ra( <sup>238</sup> U)	<sup>232</sup> Th
Минимальные значения	100	12	10
Максимальные значения	1200	120	220
Среднее	300	37	60

Примечание: Радиоактивное равновесие близко к единице, удельные активности урана и радия равны.

Изучение результатов измерений проб почвы с. Калачи показывает, что максимальные значения удельных активностей <sup>226</sup>Ra, <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th не превышают средние значения для почв Казахстана. Максимальные значения удельных активностей <sup>40</sup>K не превышают максимального значения для почв Казахстана. Исключение составляет проба, которая отобрана возле ствола шахты 8. Удельные активности <sup>226</sup>Ra и <sup>238</sup>U превышают максимальные в 46 раз, что можно объяснить тем, что проба отобрана с места, где ранее производилась добыча природного урана.



Рисунок 3. Общий вид на здание возле шахты 4 (а) и засыпанный вход (б) в туннель с фрагментами руды

#### 4. ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

##### 4.1. Объекты исследований

Поскольку территория бывшего рудника вызвала опасения у местных жителей и была предметом споров, проведено выборочное радиационное обследование, включая отбор проб для определения удельной активности радионуклидов. В настоящее время территория рудника представляет собой (рисунки 3–4) участок с остатками зданий и сооружений со следами рекультивации.



Рисунок 4. Котельная (а) и руины (б) на территории завода свинцовых солей

Основная часть сооружений разобрана местными жителями на стройматериалы.

##### 4.2. Схема проведения обследования техногенных объектов

В ходе работ проведен объезд бывших промплощадок, визуальный осмотр, фотографирование и частичное дозиметрическое обследование объектов в режиме «поиск». На части объектов проводился отбор проб почвы и воды. В целом территория бывшего рудника в ходе рекультивации была отсыпана глиной, что затрудняло поиск потенциальных источников ионизирующего излучения, особое внимание уделялось отвалам, люкам и лазам, а также местам, где со слов местных жителей «должны находиться радиоактивные отходы».

#### 4.3. Результаты радиационного обследования техногенных объектов

В ходе обследования значительные участки радиоактивного загрязнения, а также отвалы радиоактивной руды, контейнеры с радиоактивными отходами найдены не были. Радиометрическое обследование техногенных объектов в режиме «поиск» показало наличие точечных источников гамма-излучения (МЭД 0–7 мкЗв/ч). В пределах всех участков были найдены радиоактивные фрагменты руды различных размеров (до 15×20 см). Полевой спектрометрический анализ показал, что найденная руда имеет в составе природные радионуклиды ( $^{234}\text{Th}$ ( $^{238}\text{U}$ ),  $^{214}\text{Bi}$  ( $\text{Ra}^{226}$ ),  $^{228}\text{Ac}$ ( $\text{Th}^{232}$ )).

Результаты лабораторных исследований проб, отобранных на территории техногенных объектов, показали отсутствие загрязнения техногенными радионуклидами данной территории.

На основании результатов обследования техногенных объектов можно сделать вывод, что территория рудника радиационной опасности для жителей с. Калачи не представляет.

#### Выводы

По результатам оценки радиационной обстановки на территории села Калачи значения МЭД в домах находились в диапазоне от 0,10 до 0,20 мкЗв/ч. По итогам измерений плотности потока бета-частиц в домах не обнаружено какого-либо поверхностного радиоактивного загрязнения. Среднее значение мощности эквивалентной дозы в с. Калачи соответствует средним значениям в населенных пунктах области.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Интернет-ресурс: [http://tengrinews.kz/kazakhstan\\_news/sonnaya-bolezn-vnov-nastigla-jiteley-poselka-akmolinskoy-248999/](http://tengrinews.kz/kazakhstan_news/sonnaya-bolezn-vnov-nastigla-jiteley-poselka-akmolinskoy-248999/).
- Интернет-ресурс: <http://www.1tv.ru/news/world/275497>.
- Интернет-ресурс: <http://www.bbc.com/news/blogs-news-from-elsewhere-30709661>.
- Интернет-ресурс: <http://www.ibtimes.co.uk/kazakhstan-solves-mystery-over-sleeping-disorder-kalachi-1511459>.
- Интернет-ресурс: <http://www.ktk.kz/ru/news/video/2014/01/27/26367>.
- Интернет-ресурс: <http://regtv.kz/akmolinskaya-oblast/chp/item/539-prichinoy-problem-sela-kalachi-mog-stat-gaz-radon.html?tmpl=component&print=1>.
- Интернет-ресурс: [http://old.express-k.kz/show\\_article.php?art\\_id=103512](http://old.express-k.kz/show_article.php?art_id=103512).
- Интернет-ресурс: [https://www.kt.kz/rus/society/zhiteli\\_sela\\_kalachi\\_akmolinskoy\\_oblasti\\_prodolzhat\\_zasipatj\\_1153589017.html](https://www.kt.kz/rus/society/zhiteli_sela_kalachi_akmolinskoy_oblasti_prodolzhat_zasipatj_1153589017.html).
- Сердюкова, А. С. Изотопы радона и продукты их распада в природе / А. С. Сердюкова, Ю.Т. Капитанов. - Изд. 2-е. - М.: Атомиздат, 1975. - 102 с.
- Бекман, И. Н. Радон: враг, врач и помощник: курс лекций / И. Н. Бекман.
- Радиационная медицина: учеб. пособие / А. Н. Стожаров, Л. А. Квиткевич, Г. А. Солодка; под ред. проф. А. Н. Стожарова. – Мн.: МГМИ, 2000. – 154 с.
- Режим доступа на [http://ru.wikipedia.org/wiki/Калачи\\_\(Акмолинская\\_область\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Калачи_(Акмолинская_область)).
- Консервация уранодобывающих предприятий и ликвидация последствий разработки урановых месторождений на 2001-2010 гг.: отчет / РГП «Уранликвидрудник».

В объектах окружающей среды (воздух, почва, вода, продукты питания) села Калачи содержания техногенных радионуклидов не выявлено, либо их концентрации находятся на уровне фона глобальных выпадений, а содержание естественных радионуклидов является типичным для Казахстана. По итогам обследования жителей села Калачи уровни техногенных радионуклидов в организме обследуемых находились ниже предела обнаружения используемого оборудования, как по данным СИЧ, так и по результатам исследований проб биосубстратов.

Территория рудника радиационной опасности для жителей с. Калачи не представляет.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования показали, что радиационная обстановка, несмотря на то, что есть превышения нормативов по некоторым параметрам, является характерной для данного региона (в Республике Казахстан и во многих других странах существуют населенные пункты, где отмечены более высокие значения радиационных параметров).

*Выражаем благодарность за активное содействие в проведении исследований:* зам. Акима по Есильскому району Сагнаеву Гинмухаммеду Нурмановичу, Акиму пос. Красногоский Есильского района Садвакасовой Асель Кульбаевне, Алферову Владимиру Ивановичу, Литвиновой Наталье Сергеевне, Павленко Татьяне, Газизовой Людмиле Ивановне, Юрковой Наталье Владимировне, Бояринос Наталье Анатольевне, Бельковой Любовь Васильевне.

**АҚМОЛА ОБЛЫСЫ, КАЛАЧИ АУЫЛЫН РАДИАЦИЯЛЫҚ  
ЗЕРТТЕУ ЖҰМЫСТАРЫНЫҢ НӘТИЖЕЛЕРІ**

**В.В. Романенко, С.Н. Лукашенко, М.А. Умаров, Ю.В. Гарбуз, А.Ю. Осинцев, А.Н. Шатров**

*ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан*

Мақалада, Калачи ауылының радиациялық ахуалын зерттеу нәтижелері келтірілген. Калачи ауылының аумағында радиоактивті ластану анықталған жоқ. Табиғи гамма-сәуле шығарудан түсетін белгіленген сыртқы доза деңгейі орташа алғанда 1,2 мЗв/жыл мәнін құрайды. Калачи ауылының қоршаған орта нысандарындағы (ауа, топырақ, ауызсу, жербеткі ағын сулар, азық-түлік өнімдері) техногенді радионуклидтердің құрамы анықталған жоқ, немесе ол ғаламдық түсу деңгейінің шегінде жатыр; табиғи радионуклидтердің құрамы Республика үшін тән. Ауылдың аумағындағы радон қауіптілігін зерттеу барысында, топырақтың беткі қабатындағы радон ағымының жоғары тығыздығы орын алған аймақтар анықталды, олар ауылдың шеткі жағындағы батыс, солтүстік және солтүстік-шығыс бөліктерін қамтиды. Тұрғын бөлмежайлардағы радонның еншілес ыдырау өнімдерінің (ЕІӨ) орташа құрамының деңгейі 130 Бк/м<sup>3</sup> құрайды. Ауыл тұрғындарының радонмен ішкі сәулелену дозасының орташа мәні 5 мЗв/жыл құрайды.

*Кілт сөздер:* Калачи ауылы, гамма-сәуле шығару, дозиметрия, радон қауіптілік, табиғи радионуклидтер, судағы радонның белсенділігі, радон ағымының тығыздығы.

**RADIATION SURVEY FINDINGS OF KALACHI VILLAGE IN AKMOLINSK REGION**

**V.V. Romanenko, S.N. Lukashenko, M.A. Umarov, Yu.V. Garbuz, A.Yu. Osintsev, A.N. Shatrov**

*Branch "Institute of Radiation Safety and Ecology" of RSE "NNC RK", Kurchatov, Kazakhstan*

The article provides research results of radiation situation around Kalachi village. No radioactive contamination has been detected at the territory of Kalachi village. Detected levels of external dose from natural gamma-radiation are, on the average, 1.2 mSv/year. No concentration of technogenic radionuclides has been revealed in environmental sites (like potable water, air, soil and surface stream flows, foodstuffs) of Kalachi village, or they are at the background level of global fallout; concentration of naturally occurring radionuclides is typical of the Republic. In the course of radon hazard research at the village territory, zones of elevated radon density flux from the soil surface were identified which cover the western, northern and north-eastern part of the village in the outskirts. Level of average concentration of radon daughters (RD) in living quarters is 130 Bq/m<sup>3</sup>. The mean value of internal radiation dose for villagers from radon is about 5 mSv/year.

*Key words:* Kalachi village, gamma-radiation, dosimetry, radon hazard, naturally occurring radionuclides, radon activity in water, radon flux density.

УДК 577.4:001.5

## ПОЛНОТЕКСТОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ СВОБОДНОГО ДОСТУПА ПО СЕМИПАЛАТИНСКОМУ ПОЛИГОНУ В ВЕБ-СРЕДЕ

Рыкова В.В.

*Государственная публичная научно-техническая библиотека Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия*

В работе дана краткая характеристика полнотекстовым ресурсам открытого доступа для информационного сопровождения научных исследований по Семипалатинскому испытательному полигону. Показаны возможности доступа к различным ресурсам с научной информацией: КиберЛенинка, Российский индекс научного цитирования (e-library.ru), Академия Гуггл, библиотека Open Access Library, корпорации EBSCO, Государственной публичной научно-технической библиотеки Сибирского отделения Российской академии наук.

**Ключевые слова:** полнотекстовые ресурсы открытого доступа, информационное сопровождение науки, Семипалатинский испытательный полигон.

Наиболее востребованным информационным ресурсом в научном сообществе являются полнотекстовые БД Интернета, доступ к которым может быть свободным, либо осуществляться по подписке, лицензионному соглашению и т.д.

В Рунете материалы свободного доступа широко представлены в БД Киберленинка, которая строится на основе парадигмы открытой науки (Open Science). По запросу «Семипалатинский полигон» было получено более 300 полных текстов статей в разделах «Медицина и здравоохранение», «Биология», «Геология», «Охрана окружающей среды», «Сельское хозяйство» и др. Киберленинка – это единственная из Российских БД, которая дает возможность получить библиографическую ссылку в нужном формате или ее импорта в библиографический менеджер (рисунок 1) – инструмент организации личной библиотеки ученого.

Научная электронная библиотека (eLIBRARY.RU) включает информацию о научных публикациях как открытого, так и закрытого доступа. Запрос «Семипалатинский полигон» дал 328 документов, среди которых информация из периодических изданий, книг, авторефератов диссертаций и других видов изданий (рисунок 2). Вышеозначенная БД помимо полнотекстовых материалов из ряда журналов дает возможность ознакомиться с текстовыми файлами авторефератов и других видов документов путем перехода по гиперссылке на сайт Российской государственной библиотеки или издающей организации. Для получения полных текстов необходимо быть зарегистрированным пользователем. eLIBRARY.RU выполняет функции Российского индекса цитирования, где пользователь может отследить динамику публикаций, цитирование работ, импакт-фактор журналов и другие наукометрические показатели.

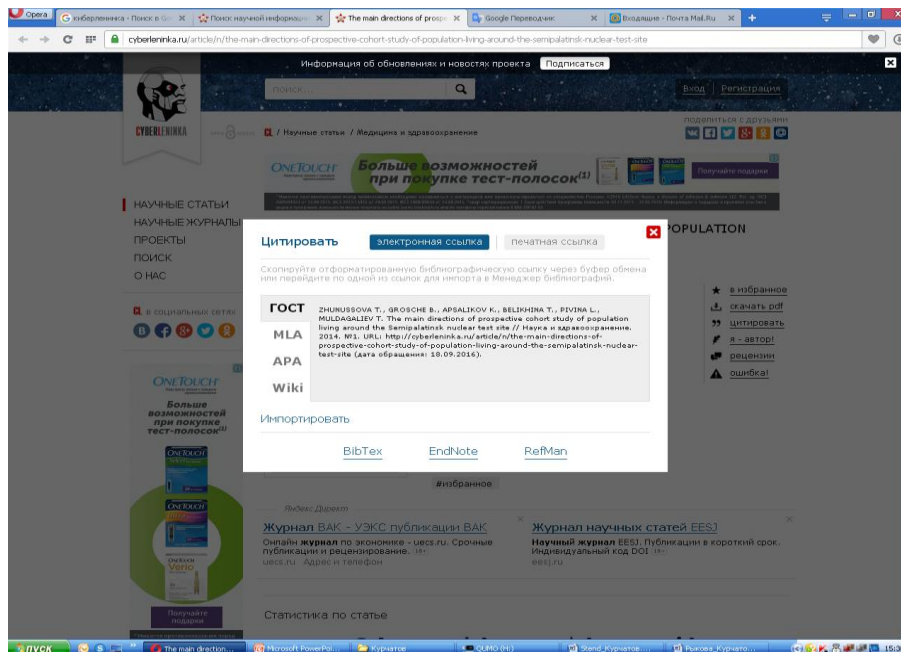


Рисунок 1. Цитирование статьи и связь с библиографическим менеджером в «Киберленинке»

## ПОЛНОТЕКСТОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ СВОБОДНОГО ДОСТУПА ПО СЕМИПАЛАТИНСКОМУ ПОЛИГОНУ В ВЕБ-СРЕДЕ

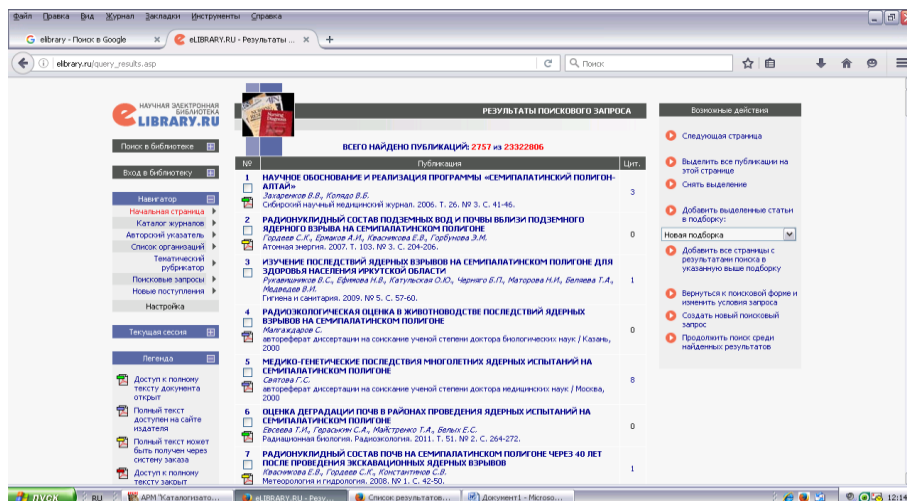


Рисунок 2. Результаты поиска в e-LIBRARY.RU

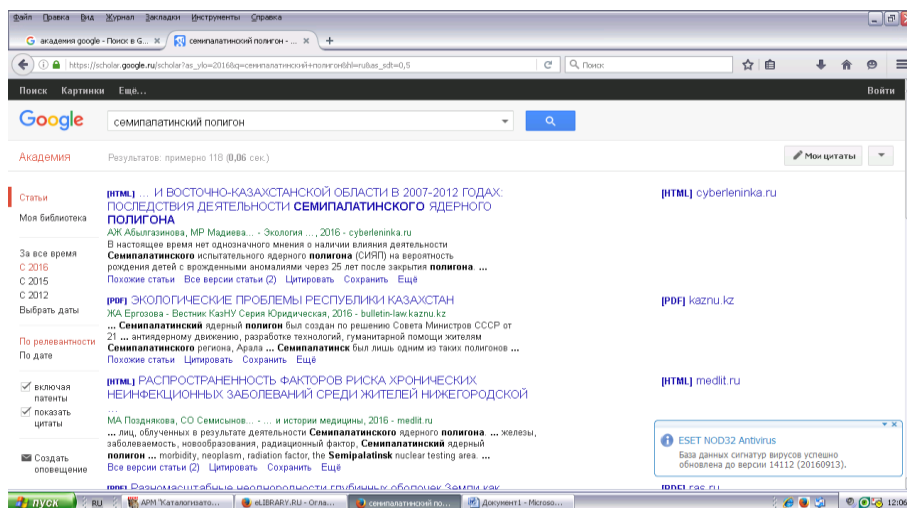


Рисунок 3. Результаты поиска в Академии Google (Google Scholar)

Академия Google, являясь бесплатной поисковой системой по полным текстам научных публикаций всех форматов и дисциплин, включает данные из большинства рецензируемых журналов крупнейших научных издательств Европы и Америки. Результаты поиска по запросу «Семипалатинский полигон» показали более 2600 работ на русском языке и 6000 англоязычных публикаций (рисунок 3). В БД показан формат представленного материала (.pdf, .html и др.), есть возможность информирования по определенной теме. Пользователь может отсортировать результаты поиска по релевантности, дате публикации и прочим параметрам.

Open Access Library (Библиотека открытого доступа) – это информационный сервис Академии открытого доступа, который предлагает бесплатно высококачественную и современную информацию по различным отраслям научного знания, включая радиоэкологию, на разных языках, дает возможность

получения «свежей» информации с помощью сортировки по дате публикации (рисунок 4).

Государственная публичная научно-техническая библиотека Сибирского отделения Российской академии наук (ГПНТБ СО РАН), являясь информационным центром СО РАН, занимается информационным сопровождением научных исследований институтов и специалистов. На сайте библиотеки [www.spsl.nsc.ru](http://www.spsl.nsc.ru) в свободном доступе находятся библиографические, реферативные, полнотекстовые БД [1]. Региональные исследования по радиоэкологии отражены проблемно-ориентированной БД с текущим пополнением «Научная Сибирика», которая включает в себя в качестве разделов информационного массива такие ранее независимые БД как «Природа и природные ресурсы Сибири и Дальнего Востока», «Проблемы Севера», «Устойчивое развитие природы и общества», «Коренные народы Севера».



## ПОЛНОТЕКСТОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ СВОБОДНОГО ДОСТУПА ПО СЕМИПАЛАТИНСКОМУ ПОЛИГОНУ В ВЕБ-СРЕДЕ



Рисунок 4. Результаты поиска в Open Access Library (Библиотеке открытого доступа)

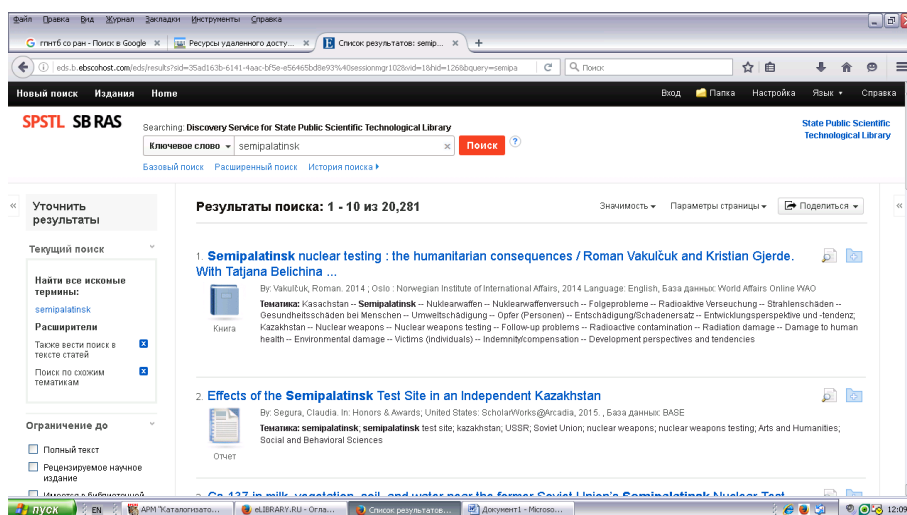


Рисунок 5. Результат поиска в EBSCO

Материалы по радиоэкологии также можно найти в самостоятельных БД собственной генерации ГПНТБ СО РАН «Экология человека в Сибири и на Дальнем Востоке», «Загрязнение и охрана окружающей среды: справочные и информационно-библиографические издания», ретроспективной БД «Экология и охрана окружающей среды Западной Сибири» (1988–2010 гг.) [2]. На домашней странице библиотеки в опции «Ресурсы удаленного доступа» пользователям предоставляется навигаторы по открытым научным ресурсам интернета.

Информационный сервис EBSCO – служба, предоставляющая доступ к БД англоязычных периодических изданий, обеспечивает полнотекстовой информацией корпоративных участников, одним из которых является ГПНТБ СО РАН. По запросу «Семипалатинский полигон» в EBSCO найдено 865 книг, 375 отчетов, 3061 журнальная статья на русском и иностранных языках (рисунок 5). Виртуальный читатель ГПНТБ СО РАН может заказать полный текст заинтересовавшего его документа на домашней странице библиотеки ([www.spsl.nsc.ru](http://www.spsl.nsc.ru)) и получить его в течение рабочего дня по электронной почте (рисунок 6).

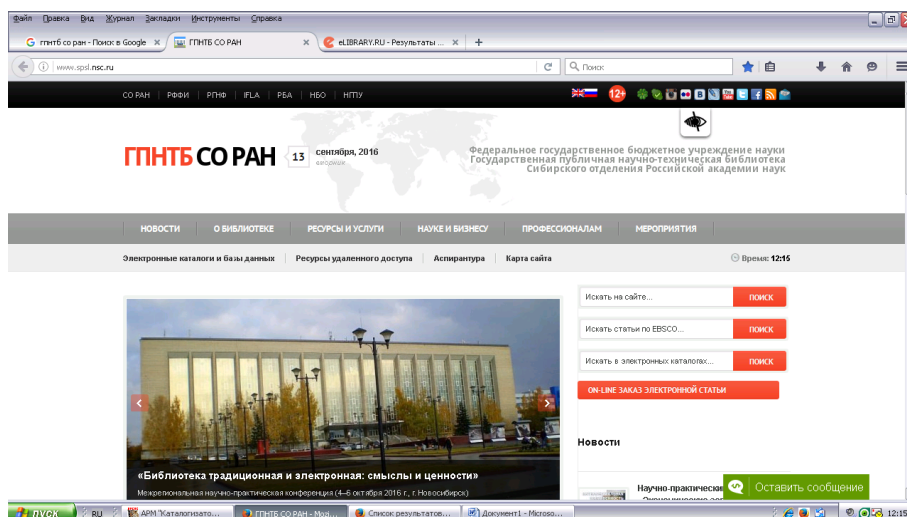


Рисунок 6. Заказ полного текста статьи на странице сайта ГПНТБ СО РАН

Таким образом, ресурсы удаленного доступа свободного доступа в веб-среде дают возможность уче-

ным и специалистам получать разноплановую полнотекстовую информацию на рабочем месте.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Lavrik, O. L. Information resources generated by the largest library in siberia to support multidisciplinary research / O. L. Lavrik, T. V. Busygina, V. V. Rykova // Slavic & East European Information Resources. - 2015. - Vol. 16. - № 1 - 2. - P. 13 - 21.
2. Rykova, V. V. Information support of radioecological research / V. V. Rykova // Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и перспективы развития : тез. докл. VI междунар. науч.-практ. конф., 24 - 26 сент. 2014 г. – Павлодар: Дом печати, 2014. - С. 17 - 18.

## ВЕБ-ОРТАДА СЕМЕЙ ПОЛИГОНЫ БОЙЫНША ЕРКІН ЕНУДІҢ ТОЛЫҚ МӘТІНДІ АҚПАРАТТЫҚ ҚОРЛАРЫ

В.В. Рыкова

*Ресей ғылым академиясы Сібірлік бөлімінің Мемлекеттік көпшілік ғылыми-техникалық кітапханасы, Новосибирск, Ресей*

Аталған жұмыста, Семей сынақ полигоны бойынша ғылыми зерттеулерге ақпараттық ілеспе жасау үшін ашық енудің толық мәтінді қорларына қысқаша сипаттама берілді. Ғылыми ақпараты бар түрлі қорларға: КиберЛенинка, Ресейлік ғылыми дәйектеу индексі (e-library.ru), Гуггл академиясы, Open Access Library кітапханасы, EBSCO корпорациясы, Ресей ғылым академиясы Сібірлік бөлімінің Мемлекеттік көпшілік ғылыми-техникалық кітапханасына ену мүмкіндігі келтірілді.

*Кілт сөздер:* ашық енгізілетін толық мәтінді қорлар, ғылымға ақпараттық ілеспе жасау, Семей сынақ полигоны.

## OPEN ACCESS FULL-TEXT INFORMATION RESOURCES ON SEMIPALATINSK TEST SITE IN WEB-SPACE

V.V. Rykova

*State Public Scientific and Technical library of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

The paper gives brief characteristics of open access full-text resources for information support of research on the Semipalatinsk test site. The possibilities of access to different resources with scientific information: KiberLeninka, Russian Science Citation Index (e-library.ru), Google Academy, Open Access Library, the EBSCO Corporation, the State Public Scientific and Technical Library of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

*Key words:* full-text open access resources, information support of science, Semipalatinsk test site.

УДК 577.4: 551.49:504.064:539.16

## ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОСЕЛКА КАЛАЧИ

Субботин С.Б., Лукашенко С.Н., Зеленский К.Л., Романенко В.В., Супрунов В.И., Мельничук М.А.

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

В статье представлены результаты анализа особенностей геологического строения территории расположения п. Калачи. Отмечено, что сам поселок с прилегающей к нему инфраструктурой законсервированного уранового рудника расположены в зоне пересечения двух крупных разломных тектонических структур. Данные структуры могут являться путями поступления газообразных продуктов из земных недр, вызывающих «сонный» синдром у жителей поселка. Подтверждением данного предположения являются геодинамически-активные зоны, установленные на территории жилого поселка. Наличие данных факторов дает основание для версии об экологическом неблагополучии территории поселка, связанной с особенностями геологического строения данной территории.

Представлены результаты исследования по выявлению и оконтуриванию геодинамически-активных зон, данные по газовому мониторингу, разработаны предложения по проведению дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** поселок Калачи, Ишимское месторождение, геологическое строение, буровая скважина, подземные воды, грунт, геодинамически-активная зона, «сонный» синдром.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время мировое сообщество признает в промышленных центрах на Земле крайне неблагополучную экологическую обстановку. В связи с развитием промышленности происходит загрязнение техногенными отходами производства окружающей среды, что приводит к возникновению и развитию новых, ранее неизвестных заболеваний. Возможно, что к одному из таких заболеваний относится «сонный синдром», отмеченный у жителей поселка Калачи Акмолинской области.

Первый зафиксированный случай «сонного» синдрома у жителей поселка Калачи произошел в июле 2012 г. В 2013 году в лечебные организации обратилось ещё несколько человек с симптомами «сонной болезни». После чего в средствах массовой информации стали появляться сообщения о случаях возникновения у жителей села Калачи неизвестного заболевания, именуемое в настоящее время «синдром Калачей» [1–3]. Всего до конца 2014 года произошло более 100 случаев такого заболевания.

Заболевание, вызванное неизвестными причинами, по информации, представленной Министерством здравоохранения РК, определяется как «Энцефалопатия неясной этиологии». По информации, предоставленной медицинскими работниками, в качестве причины исключаются инфекционные и паразитные заболевания, прием лекарств, некачественной питьевой воды, продуктов и алкоголя.

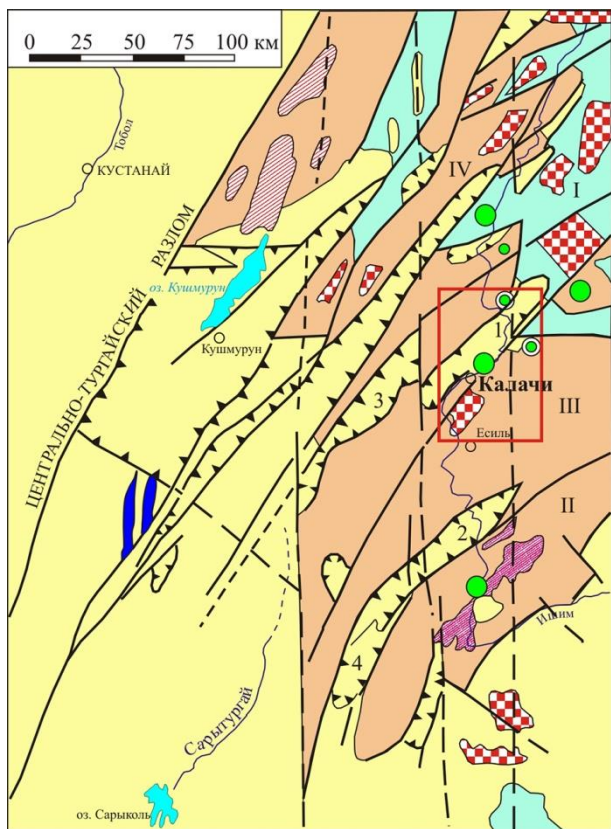
Некоторые специалисты утверждали, что данное заболевание связано с наличием уранового месторождения, которое разрабатывалось вблизи поселка в советское время [4]. Т.е. радиационное воздействие на людей, включая наличие высоких концентраций радона, рассматривалось как основной фактор, вызывающий «сонный синдром» [5–7].

Исследования территории расположения поселка Калачи, проведенные НЯЦ РК, показали, что радиоэкологическая обстановка, сложившаяся в результате разработки уранового рудника, для жителей поселка радиационной опасности не представляет [8].

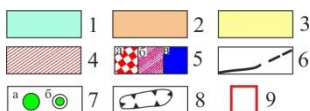
Кроме радиационных факторов проведены предварительные исследования факторов, способных вызвать экологическое неблагополучие, обусловленные особенностями геологического строения территории расположения поселка Калачи. В основу рабочей версии было положено предположение о возможном поступлении различных газообразных продуктов из земных недр на дневную поверхность, вызывающих «сонный» синдром у жителей поселка. В связи с чем, при проведении исследований основной целью являлось выявление газоносных геологических структур, способных проводить из земных недр на дневную поверхность глубинные газовые потоки.

### ОБЩИЕ ДАННЫЕ ПО ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ СТРОЕНИЮ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ ТЕРРИТОРИИ

Современный геологический облик западного склона Кокчетавского поднятия во многом определен разнонаправленными движениями блоков горных пород по системам крупных, главным образом, северо-восточных ( $20^{\circ}$ – $40^{\circ}$ ) и, в меньшей мере, широтных ( $70^{\circ}$ – $90^{\circ}$ ), близмеридиональных ( $350^{\circ}$ – $10^{\circ}$ ), и северо-западных ( $320^{\circ}$ – $340^{\circ}$ ) длительно развивавшихся глубинных разломов (рисунок 1). Большинство этих разломов относится к скрытым и далеко не все из них показаны на существующих геологических картах и схемах, однако их наличие устанавливается по целому ряду признаков, характерных для подобного рода тектонических нарушений.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



Фундамент: 1 - допалеозойский структурный этаж. Сланцы, гнейсы, амфиболиты, кварциты, мрамор; 2 - нижний палеозойский структурный этаж. Сланцы, песчаники, аргиллиты, порфириды, порфиры и их туфы; Чехол: 3 - верхнепалеозойско-нижнемезозойский структурный этаж. Песчаники, известняки, мергели, базальты, угли; 4 - герцинские интрузии кислого состава; 5 - ранне- и позднекаледонские интрузии кислого состава (а), среднего (б), ультраосновного (в) составов; 6 - основные скрытые глубинные разломы; 7 - месторождения (а), рудопроявления (б) урана; 8 - грабены, грабен-синклинали; 9 - район месторождения.

Антиклинории: I - Кокчетавский; II - Джаркаинагачский;

Синклинорий: III - Калмыккульский; IV - Марьевский;

Грабен-синклинали: 1 - Новомихайловская; 2 - Ишимская;

Грабены: 3 - Жаныспайский; 4 - Савинковско-Кызылтальский.

Рисунок 1. Тектоническая схема западного склона Кокчетавского поднятия

В результате неоднократных перемещений, начавшихся, по крайней мере, в конце ордовика и продолжавшихся до юры-неокома, на западном склоне Кокчетавского поднятия образовалась система вытянутых в север-северо-восточном направлении приподнятых блоков допалеозойских и нижнепалеозойских пород – выступов фундамента, разделенных опущенными блоками – грабенами и грабен-синклиналими, выполненными породами верхнепалеозой-

ско-нижнемезозойского структурного этажа (рисунок 1). Формирование этих блоков в платформенный период является, по-видимому, дальнейшим развитием устойчивых интрагеоантиклинальных поднятий, существовавших в этих участках в геосинклинальный период.

Территория п. Калачи расположена в центральной части Ишимского (Есильского) рудного поля, приурочено к одному из таких приподнятых блоков. Этот блок с северо-запада ограничен Жаныспайским грабеном и Ново-Михайловской грабен-синклиналью; западной его границей является скрытый меридиональный глубинный разлом. Восточная его граница точно не определена.

Геологическое строение

В геологическом строении района принимают участие, в основном, осадочные, в меньшей степени – эффузивно-осадочные породы, возраст которых датируется от протерозоя или кембрия до кайнозоя включительно. Особенно широко здесь развиты четвертичные отложения, которые почти сплошь перекрывают древние образования, что сильно усложняет изучение геологии района (рисунок 2) [9].

Интрузивные породы распространены в меньшей степени, и возраст их датируется всеми исследователями, как позднекаледонский, а состав колеблется от гранитов до габбро. В результате каледонского и варисского тектогенеза все осадочные породы, исключая кайнозойские образования, смяты в складки. Наблюдается значительное развитие разрывных нарушений.

В районе известно три интрузивных тела. Самым большим интрузивным телом является Дальнинский гранитный массив, расположенный несколько восточнее юго-западной части района, где занимает площадь 170-180 км<sup>2</sup>. Сложен массив, в основном, розовыми и красными, крупно- и среднезернистыми лейкократовыми гранитами. Юго-западная часть его сложена серыми кызылсуйскими гранитами.

В гранитном массиве отмечается значительное количество секущих его маломощных даек аплитов, гранит-порфиров и небольших линзовидных пегматитов, которые генетически связаны с этим массивом. Западный контакт массива очень пологий (угол падения 20°–30° на запад). Турмалинизация наблюдается не только во вмещающих породах, но и в самих гранитах, где проявляется в образовании отдельных кварц-турмалиновых тел.

На юго-западе в серых кызылсуйских гранитах наблюдается грейзенизация с образованием кварц-мусковитовых, кварц-мусковит-андалузитовых, иногда с топазом, грейзенов. Кроме того, кызылсуйские граниты секутся кварц-молибденитовыми жилами мощностью до 1 м.

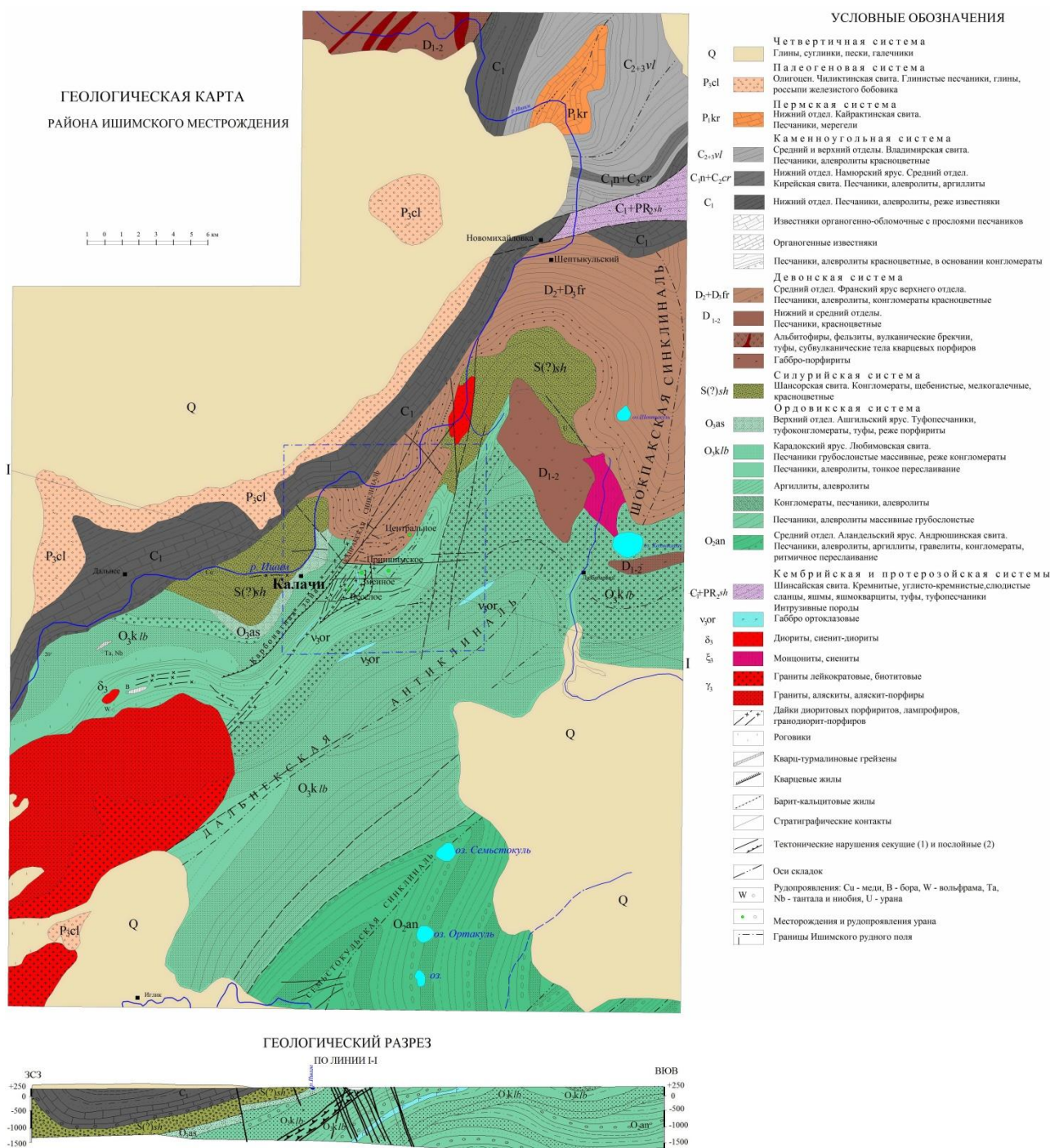


Рисунок 2. Геологическая карта района Ишимского месторождения. Масштаб 1:100 000

Другим интрузивным телом в районе является диоритовый массив, обнажающийся по р. Ишим и р. Коныр-Су, в месте их слияния. Этот массив прорывает отложения верхнего ордовика-силура и характеризуется незначительными размерами (4–5 км<sup>2</sup>) и сложным составом. Основными породами, составляющими этот массив, являются диориты, кварцевые диориты и гранодиориты. Часто от массива во вмещающие породы отходят дайкообразные тела, представленные диоритовыми порфирами. Вмещаю-

щие породы обычно ороговикованы. Мощность ороговикования редко превышает 10 м. Сам массив, в свою очередь, сечется редкими дайками лампрофиров и диоритовых порфиров мощностью 1–2 м.

Третий интрузив площадью 8–10 км<sup>2</sup> расположен в среднем течении р. Коныр-Су, несколько севернее с. Любимовка. В своей северной и восточной частях он почти сплошь перекрыт четвертичными образованиями и устанавливается только по скважинам картировочного бурения. Он также имеет сложное

строение. Основными породами, слагающими этот интрузив, являются среднезернистые сиенито - диориты и диориты, которые в приконтактных частях переходят в мелкозернистые или порфировые. Описываемый интрузив прорывает отложения ордовика и верхнего ордовика-силура (ксенолиты сиенитов встречаются в эффузивах  $D_{1-2}$ ) и перекрываются, в свою очередь, верхнедевонскими песчаниками.

Кроме значительных по размерам интрузивных тел, в районе имеется большое число мелких штоков и даек диоритового состава и дайкообразных тел габбро. По отдельным выходам, высыпкам и скважинам видно, что дайковый пояс с аналогичным составом даек находится в районе оз. Казмокарак. Возраст всех интрузивных тел считается силурийским или нижнедевонским, то есть позднекаледонским.

### Тектоника

Толщи ордовикских и силурийских пород имеют общее северо-восточное ( $30^{\circ}$ – $40^{\circ}$ ) простирание и пологое ( $20^{\circ}$ – $40^{\circ}$ ) падение на северо-запад. Их моноклиальное залегание осложнено флексурными перегибами и складками второго порядка – Приишимской антиклиналью и Ишимской синклиналью. Средне-верхнедевонскими отложениями сложена Кайрактинская синклиналь. В ядре этой синклинали и у юго-западной ее границы пласты девонских пород залегают полого ( $10^{\circ}$ – $20^{\circ}$ ), а вдоль юго-восточной границы – тектонически прислонены к толщам пород верхнего ордовика и имеют крутые ( $50^{\circ}$ – $60^{\circ}$ ) углы падения.

По положению в пространстве в пределах Ишимского рудного поля выделяются следующие группы относительно крупных разрывных нарушений: крутопадающие ( $50^{\circ}$ – $80^{\circ}$ ), северо-восточного ( $20^{\circ}$ – $40^{\circ}$ ), широтного ( $70^{\circ}$ – $90^{\circ}$ ), близмеридионального ( $0^{\circ}$ – $10^{\circ}$ ) и северо-западного ( $300^{\circ}$ – $330^{\circ}$ ) простираний, а также пологопадающие ( $5^{\circ}$ – $30^{\circ}$ ) межпластовые и секущие слоистости осадочных пород. Северо-западные ( $300^{\circ}$ – $330^{\circ}$ ) разрывные нарушения типа сбросов с крутым ( $70^{\circ}$ – $85^{\circ}$ ) падением на юго-запад выполнены кварцем, баритом и глиной. Они смещают пласты средне-верхнедевонских песчаников и северо-восточные разломы на первые сотни метров (в плане). Мощные (первые метры) взбросы широтного простирания с крутым ( $60^{\circ}$ – $80^{\circ}$ ) падением на юг разделяют южную часть рудного поля на ряд блоков. Эти разломы, выполненные дайками лампрофиров, кварцем, карбонатами и глиной, также смещают северо-восточные разрывы. Амплитуды горизонтальных перемещений по широтным разломам достигают 200 м. Близмеридиональные сбросы ( $0^{\circ}$ – $20^{\circ}$ ), крутопадающие ( $70^{\circ}$ – $80^{\circ}$ ) на восток, смещают на 200–500 м пласты ордовикских отложений, широтные и северо-западные разломы. Пологие ( $5^{\circ}$ – $30^{\circ}$ ) межпластовые нарушения типа сбросов получили широкое распространение в толще переслаивания песчаников и алевролитов у контактов пород различного литологического состава и физико-механических

свойств. Эти протяженные (км) по простиранию и падению разрывные нарушения выполнены разновозрастными дайками и карбонатными жилами.

### Гидрогеологические условия

На основании геологического строения района и проведенных на его территории гидрогеологических исследований выделяются следующие основные водоносные горизонты и комплексы пород.

*Водоносный горизонт в верхнеэоценовых и четвертичных отложениях ( $N_2-Q$ ).* Водовмещающими породами являются суглинки, супеси и песчанистые глины. Подземные воды залегают на глубине 2–5 м, мощность водоносных горизонтов не превышает 7 м. Питание водоносных горизонтов осуществляется за счет атмосферных осадков и снеготаяния.

*Водоносный комплекс в отложениях палеогена (P).* Отложения палеогена, занимающие все левобережье и часть правобережья реки Ишим, представлены различными глинами с прослоями и гнездами песка различной мощности. На большей части площади они перекрыты толщей верхнеэоценовых и четвертичных отложений. Обводненными являются нижне- и верхнеэоценовые отложения, где в разрезе часто встречаются песчаные и супесчаные разности пород, чередующиеся с жирными глинами. Глубина залегания вод изменяется от 1 до 43,2 м, в среднем составляя 8–20 м. Мощность отложений колеблется в широких пределах от 0,1 до 17 м. По качеству воды пресные, слабо соленые и соленые. Водообильность водоносных пород палеогена небольшая.

*Водоносный комплекс в отложениях средне-верхнего карбона ( $C_{2-3}$ ).* Средне- и верхнекаменноугольные отложения, выполняющие ядро Новомихайловской грабен-синклинали, развиты на правобережье реки Ишим в северной части района. Они представлены красноцветными полимиктовыми песчаниками, алевролитами с прослоями конгломератов и известняков. Глубина залегания вод 2–6,3 м. Воды пресные, гидрокарбонатно-натриевые.

*Водоносный горизонт в визе-намюрских отложениях ( $C_1^{v+n}$ ).* Отложения визея-намюра распространены на левобережье и частично на правобережье реки Ишим. Они представлены различными известняками, песчаниками, алевролитами, аргиллитами. Водовмещающими породами являются песчаники и известняки. Воды безнапорные. Уровни подземных вод в южной и центральной частях устанавливаются на глубине 6,7–9,4 м, а в северной части района глубина залегания уровня повышается до 15–25 м. Мощность водоносного не превышает 50–70 м. По химическому составу воды гидрокарбонатно-хлоридные магниевые-натриевые. В одиночных скважинах минерализация достигает 1 г/л.

*Водоносный горизонт в турнейских отложениях ( $C_1^t$ ).* Отложения нижнего и верхнего турнея заключают воды единого водоносного горизонта и распространены на обоих берегах реки Ишим. Нижняя

часть разреза отложений турнея представлена полимиктовыми песчаниками и алевролитами с прослоями и линзами аргиллитов, известковистых песчаников и известняков. Верхняя часть представлена органично-обломочными известняками и сланцеватыми глинистыми известняками. Общая минерализация вод не превышает 1 г/л. Питание водоносного горизонта осуществляется, главным образом, за счет поверхностных вод реки Ишим и частично за счет атмосферных осадков и вод других водоносных горизонтов.

*Водоносный горизонт в породах девонского возраста (D<sub>2-3</sub>).* Породы нижнего-среднего и верхнего девона развиты по правобережью реки Ишим и в районе п. Новомихайловка. Водоносными являются трещиноватые порфириды и красноцветные песчаники с прослоями конгломератов. Характеристика водоносного горизонта дается по выходящим породам в долине р. Ишим и в скважине механического бурения № 5. В скважине № 5 вода встречена на глубине 2 м. Водообильность пород слабая. Воды пресные с минерализацией 0,1–0,2 г/л и слабо соленые с минерализацией 1,2–2,5 г/л.

*Водоносный комплекс в породах ордовика (O).* Породы ордовика развиты в центральной части района. Представлены они различными по составу песчаниками, алевролитами, аргиллитами, туфоконгломератами. Воды в этих отложениях вскрыты многочисленными скважинами и горными выработками. Залегание уровня подземных вод ордовикского водоносного комплекса, колеблется от 26,0 до 11,0 м. Воды безнапорные.

*Водоносный комплекс в гранитах.* Граниты Дальнинского массива занимают большую площадь в юго-западной части района. Глубина залегания трещинных вод колеблется от 2,8 до 6,0 м. В некоторых скважинах воды напорные. Граниты в зонах тектонических нарушений являются сильно обводненными и весьма слабо обводненными вне этих зон. Воды гранитов пресные. [10].

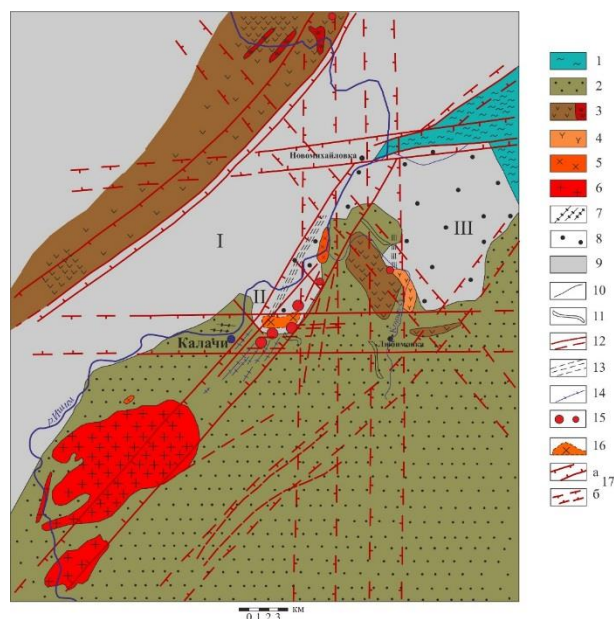
#### Современное состояние инфраструктуры уранового рудника

Урановое месторождение разрабатывалось с 1960 по 1990 гг. В настоящее время территория бывшего рудника в ходе рекультивации отсыпана глиной. В результате радиометрического обследования территории рудника в режиме «поиск» выявлены локальные участки с повышенным гамма-фоном. На основании результатов обследования сделаны выводы, что территория рудника радиационной опасности для жителей п. Калачи не представляет.

#### Результаты анализа особенностей геологического строения территории расположения п. Калачи

По результатам детального анализа данных по геологическому строению территории расположения п. Калачи было отмечено, что тектоническое

строение района уранового месторождения характеризуется широким развитием складчатых структур в образованиях палеозойского возраста, а также наличием крупных разрывных нарушений, в основном северо-восточного и близширотного направлений. Согласно представленной тектонической схеме (рисунок 3) [11], Ишимское рудное поле образовано в приподнятом блоке пород фундамента и приурочено к узлам пересечения зон скрытых глубинных разломов.



#### Нижнепалеозойский структурный этаж:

1 - кембрийские сланцы; 2 - ордовикские и силурийские осадочные породы; 3 - средне-нижнедевонские эффузивные, эффузивно-осадочные породы и субвулканические тела; 4 - монцитониты; 5 - диориты, сиенито-диориты; 6 - граниты; 7 - пояса даек диоритовых порфиритов.

#### Верхнепалеозойско-нижнемезозойский структурный этаж:

8 - средне-верхнедевонские осадочные породы; 9 - каменноугольные и пермские осадочные породы. 10 - геологические границы; 11 - флексуриобразные горизонтальные перегибы; 12 - разрывные нарушения, установленные и предполагаемые; 13 - зоны мелкой трещиноватости; 14 - барит-кальцитовые жилы; 15 - месторождения и рудопроявления урана; 16 - изолинии ΔZ, оконтуривающие массив диоритов не вскрытый эрозией; 17 - положение зон, выделенных (а), зон предполагаемых разломов.

I - Новомихайловская грабен-синклиналь; II - Кайрактинская синклиналь; III - Шокпакская синклиналь

Рисунок 3. Схема геотектонических нарушений на территории расположения п. Калачи

Рудное поле и прилегающий к нему район занимают север-северо-западную краевую часть Есильского блока. В зоне шириной примерно 4-6 км, ориентированной в северо-восточном направлении, расположены: Дальненский гранитный массив, Ишимский дайковый пояс, штоки диоритов и разрывные нарушения северо-восточного простирания, а также все месторождения и рудопроявления Ишимского рудного поля.

Основное внимание заслуживает 7-и км зона влияния широтного разлома в центральной части

района. В этой зоне установлены: близпараллельные разрывные нарушения, дайки, кварц - карбонатные жилы, широтно-ориентированное поле ниже-среднедевонских эффузивов, а также широтная ориентировка долины и русла р. Ишим. В участке пересечения зоны разломов расположены основные месторождения урана Ишимского рудного поля. Стоит иметь в виду, что зоны влияния разломов характеризуются повышенной трещиноватостью, наличием зон дробления, брекчирования, рассланцевания.

На основе выше представленных данных была построена версия о том, что на геоэкологическую обстановку п. Калачи могут оказывать явления, связанные с поступлением вредных воздушно-газовых компонентов по трещинно-разломным системам и сопряженным с ними геодинамически активных зон (ГдАЗ). В связи с чем, в рамках настоящей работы основное внимание было уделено выявлению ГдАЗ и изучению характера их газоносности.

#### **ВЫЯВЛЕНИЕ И КАРТИРОВАНИЕ УЧАСТКОВ С АКТИВНОЙ ГЕОДИНАМИКОЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ОТНОШЕНИЯ АКТИВНОСТЕЙ $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ В ПРОБАХ ГРУНТА**

Основными газопроводящими структурами могут являться ГдАЗ. Данные зоны образуются в массивах неоднородной геологической среды, где напряжения распределяются неравномерно и могут достигать в локальных зонах критических значений, вызывающих деформации и нарушения сплошности грунтов. Существование таких зон проявляется в виде возвратно-поступательного движения грунтового массива. На участках с активной геодинамикой деформационные волны сжатия-растяжения грунтового массива могут работать как гигантский «насос», периодически увеличивая скорость миграции радона и других газов к дневной поверхности [12]. При этом не исключается возможная связь ГдАЗ с подземной инфраструктурой законсервированного рудника и территорией поселка, по трещинным системам которых происходит поступление газов, вызывающих «сонный» синдром у населения поселка.

Выявление признаков наличия геодинамических зон проводилось по результатам анализа значений отношения удельных активностей  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{210}\text{Pb}$  в рыхлых породах. На участках без проявления геодинамической активности основным механизмом переноса радона в толще осадочных пород является диффузия. При диффузионном механизме переноса радона в геологической среде со стационарным радоновым полем в радиоактивном ряду  $^{226}\text{Ra} \rightarrow ^{222}\text{Rn} \rightarrow ^{210}\text{Pb}$  устанавливается вековое радиоактивное равновесие, что является признаком отсутствия дополнительного подтока радона в контрольную область. В грунтах с активной геодинамикой, помимо

выделения радона из эманлирующего слоя грунта, в контрольную область поступает дополнительный подток радона и, соответственно, происходит накопление избыточного  $^{210}\text{Pb}$ . Период полураспада  $^{210}\text{Pb}$  составляет 22,3 года, он является малоподвижным тяжелым металлом, дочерним продуктом распада радона. Благодаря этим свойствам,  $^{210}\text{Pb}$  способен накапливаться на стенках пор и трещин горных пород при прохождении через грунты потока радона.

#### **Топографическая съемка территории п. Калачи**

Спутниковая геодезическая съемка территории объекта выполнена в масштабе 1:2000 с высотой сечения рельефа 0,5 метра, двухчастотным приемником Spectra Precision EPOCH 50 № 5330400115. Результаты полевых наблюдений обработаны с применением программы Spectra Precision Survey Office 2.70. При обработке данных была выбрана маска возвышения спутников над горизонтом 15 градусов и использована гравитационная модель земли – EGM2008. Построение цифровой модели рельефа так же выполнено в программе Spectra Precision Survey Office 2.70. Съемка выполнена в режиме RTK. Общая площадь съемки составила 56,4 га (564052 м<sup>2</sup>).

#### **Отбор проб рыхлых горных пород**

Места расположения пробуренных скважин представлены на схеме (рисунок 4а). Для уточнения строения и предварительного оконтуривания ГдАЗ в пределах пробуренных скважин проведен отбор 15 проб грунта (рисунок 4б). Пробы грунта отбирались с глубины не менее 0,3 м (после удаления слоя техногенного грунта), в объеме 1 кг.

#### **Лабораторный гамма-спектрометрический анализ**

Определение естественных радионуклидов проводилось на полупроводниковом детекторе BE 3830 из высоко чистого германия производства Canberra с относительной эффективностью 35 %. Подготовка счетного образца пробы почвы включала в себя следующие этапы: просушивание пробы, просеивание пробы через сито 1 мм, отбор счетного образца от общей пробы методом квартования. Счетный образец переносился в измерительную тару, которая представляла собой прямой цилиндрический контейнер. Типичная масса счетного образца составляла 500 г. После взвешивания образца контейнер герметично упаковывался на время порядка 21 суток. Последнее было необходимо для установления радиоактивного равновесия между  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{222}\text{Rn}$ , что в свою очередь необходимо для корректного определения активности дочерних продуктов распада радона.



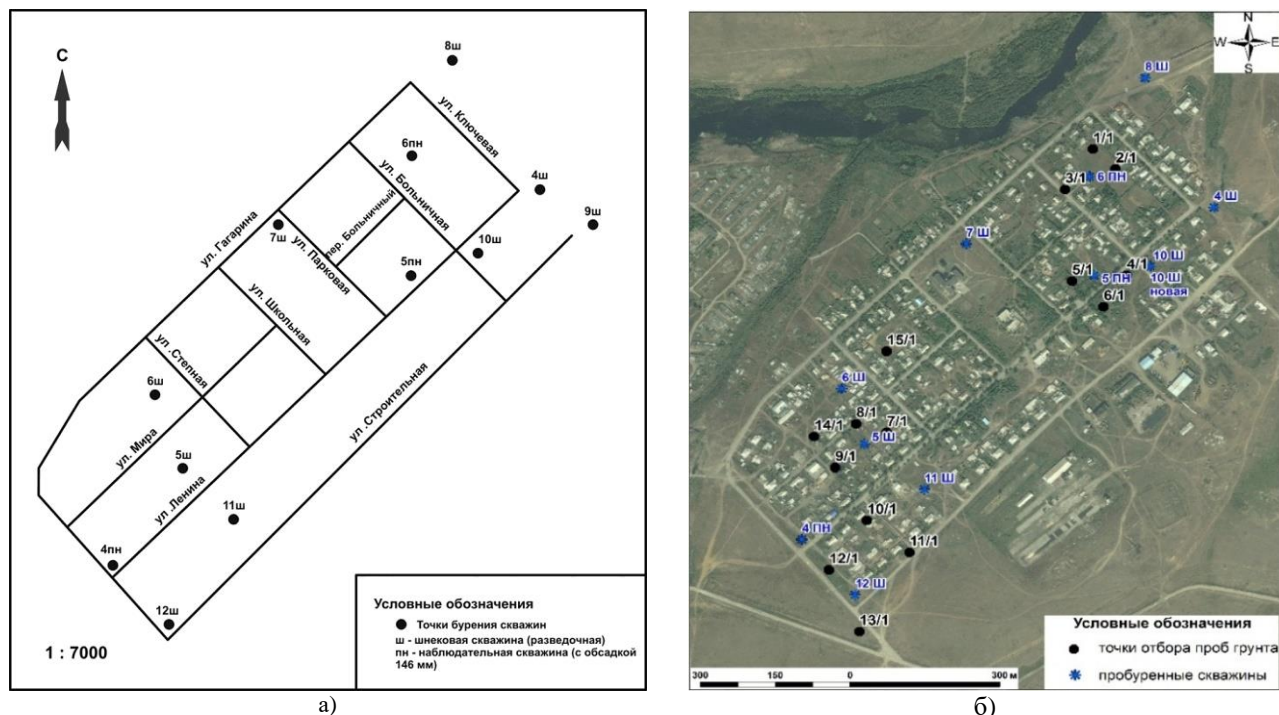


Рисунок 4. Схемы расположения (а)- пробуренных скважин, (б)- точек отбора проб грунта

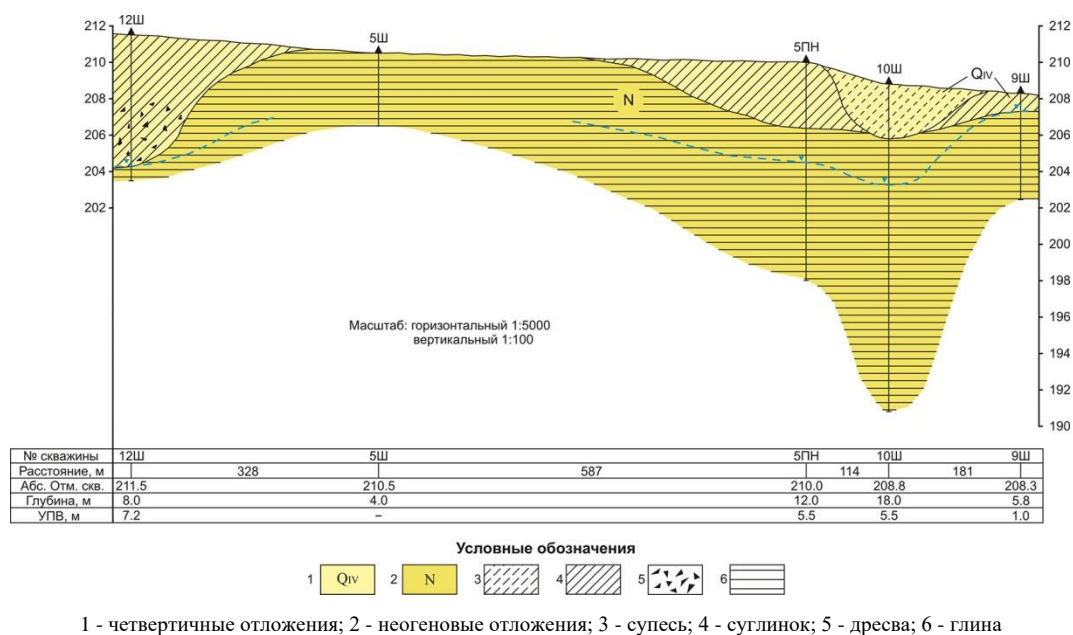


Рисунок 5. Геологический разрез по линии 12Ш-9Ш

По истечению указанного срока образец поступал на спектрометрический анализ. Типичное время экспозиции составляло не менее 2 ч. Обработка амплитудного спектра проводилась по следующим радионуклидам:  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{40}\text{K}$ . Калибровка детектора по эффективности регистрации проводилась с использованием насыпных источников  $\text{RgU}$ ,  $\text{RgTh}$  и  $\text{RgK}$ .

### Результаты работ по уточнению мощности рыхлых отложений

Для уточнения мощности чехла рыхлых отложений на территории поселка пробурено 15 скважин. Результаты бурения показали, что мощность рыхлых отложений на территории расположения п. Калачи изменяется от 0,5 до 18,0 м. Грунты представлены четвертичными супесями и суглинками, а также глинами (рисунок 5).

### Результаты работ по выявлению и оконтуриванию ГдАЗ

Основным критерием для выявления и оконтуривания ГдАЗ являлись значения отношения удельной активности  $^{226}\text{Ra}/^{210}\text{Pb}$ , полученные по результатам лабораторных гамма-спектрометрических анализов проб рыхлых горных пород. В большинстве проб отношение удельной активности  $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$  близко к 1 в пределах погрешности определения величины, т.е. величина избыточного свинца близка к нулю. В ряде скважин избыточный свинец-210 присутствует в небольших количествах в верхней части разреза на глубине до 1,0 м (скв. 10Ш, 8Ш, 9Ш), что, скорее всего, связано с интенсивным выносом радона через этот слой в атмосферу. При этом на глубинах более 1 м в этих скважинах отношение  $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$  можно считать равным 1, т.е. конвективный перенос радона из нижележащих грунтов отсутствует.

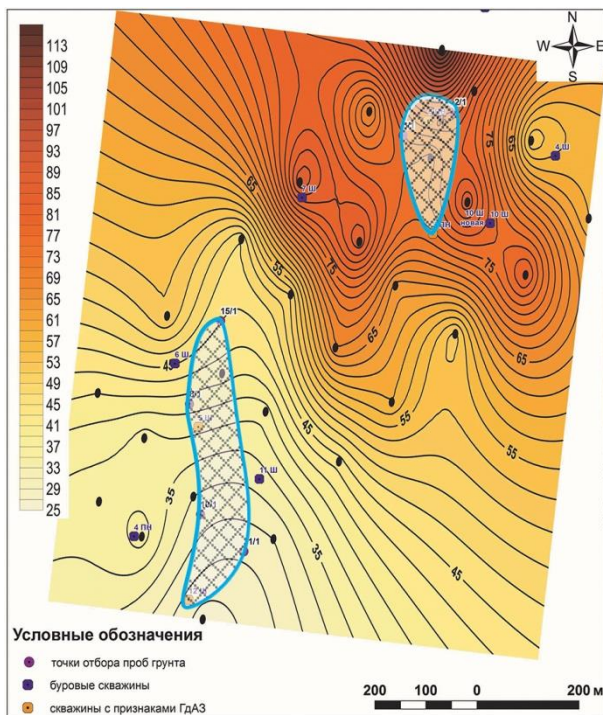


Рисунок 6. Схема расположения ГдАЗ совмещенная с картой потока радона

Совершенно другое соотношение установлено в скважинах: 5Ш, 12Ш, 5ПН и 6ПН, в пробах которых присутствует избыточный  $^{210}\text{Pb}$ , что свидетельствует о наличии на данных участках конвективного переноса радона из нижележащих скальных горных пород. Величина избыточного свинца в этих скважинах достигает 24 Бк/кг.

По результатам гамма-спектрометрических измерений образцов проб грунта, отобранных с глубины 0,3 м в качестве дополнительной информации, мож-

но отметить, что в исследованных пробах значение отношения  $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$  изменяется от 0,3 до 2,6. Значения избыточного свинца отмечены в районе скважин 6ПН и 12Ш, а также в точке 15/1 в районе скважины 6Ш.

По результатам картирования полученных данных на территории расположения п. Калачи установлены две ГдАЗ – северная и южная (рисунок 6).

При анализе построенной схемы можно отметить, что южная зона имеет выраженный линейный характер с субмеридиональным простираем. Для данной зоны характерно поле с минимальными значениями потока радона. В отличие от южной, северная ГдАЗ расположена в области максимальных значений потока радона. Данный фактор дает основание предполагать, что в пределах северной ГдАЗ в моменты тектонической активности вынос других газов на дневную поверхность имеет площадной характер, а по южной ГдАЗ газовыделения происходят в пределах отдельной зоны тектонической трещины.

### Выводы

По результатам анализа данных по геологическому строению района расположения п. Калачи отмечено, что тектоническое строение района уранового месторождения характеризуется широким развитием складчатых структур в образованиях палеозойского возраста, а также наличием крупных разрывных нарушений, в основном северо-восточного и близширотного направлений. Зоны влияния разломов характеризуются повышенной трещиноватостью, наличием зон дробления, брекчирования, расланцевания. В связи с чем зоны разломов могут являться газопроводящими структурами для поступления потоков газов глубинного происхождения на дневную поверхность.

На территории расположения п. Калачи установлены две ГдАЗ. Наличие повышенных концентраций свинца-210 свидетельствует о наличии на территории п. Калачи участков, находящихся в аномальном напряженно-деформируемом состоянии, что обеспечивает их повышенную газопроницаемость. Для повышения эффективности исследований по изучению строения и характера распространения ГдАЗ, проводимые работы необходимо дополнить регулярными сейсмическими наблюдениями. Такие наблюдения позволят установить места расположения сейсмических событий и их глубину. В сочетании методов, состоящих из мониторинга атмосферного воздуха, газоносности горных пород, а также сейсмических наблюдений можно будет точно установить главные (наиболее активные) ГдАЗ и оценить их экологическую значимость.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Интернет-ресурс: [http://tengrinews.kz/kazakhstan\\_news/sonnaya-bolezn-vnov-nastigla-jiteley-poselka-akmolinskoy-248999/](http://tengrinews.kz/kazakhstan_news/sonnaya-bolezn-vnov-nastigla-jiteley-poselka-akmolinskoy-248999/).
2. Интернет-ресурс: <http://rus.azattyq.org/content/selo-kalachi-sonnaya-bolezn/26575442.html>.
3. Интернет-ресурс: <http://www.vesti.ru/doc.html?id=1349125&cid=520>.
4. <http://www.ktk.kz/ru/news/video/2014/01/27/26367>.
5. <http://regtv.kz/akmolinskaya-oblast/chp/item/539-prichinoy-problem-sela-kalachi-mog-stat-gaz-radon.html?tmpl=component&print=1>.
6. [http://old.express-k.kz/show\\_article.php?art\\_id=103512](http://old.express-k.kz/show_article.php?art_id=103512).
7. [https://www.kt.kz/rus/society/zhiteli\\_sela\\_kalachi\\_akmolinskoy\\_oblasti\\_prodolzhajut\\_zasipatj\\_1153589017.html](https://www.kt.kz/rus/society/zhiteli_sela_kalachi_akmolinskoy_oblasti_prodolzhajut_zasipatj_1153589017.html).
8. Обеспечение радиационной безопасности на территории республики казахстан» Мероприятие «Комплексные обследования на территории села Калачи и прилегающих территориях декультивированных урановых шахт Есильского района Акмолинской области: отчет о РБП 008 (итоговый) / ИРБЭ НЯЦ РК; рук. Лукашенко С.Н. – Курчатова: ИРБЭ НЯЦ РК, 2015.
9. Казаков, В. С. Ишимское месторождение урана: отчет о работах Северо-Казахстанской экспедиции МГРИ за 1950 г. / В. С. Казаков, И. П. Наумейко; с использованием материалов Уткина А.Ф. за 1959 г. – Т. II (графические приложения). – 1962. - Лист 1.
10. Казаков, В. С. Ишимское месторождение урана: отчет о геологоразведочных работах за 1956-1962 г.г. / В. С. Казаков, И. П. Наумейко. – Т. I (текстовая часть). – Макинск, 1963. - С. 40 – 67; 269 - 278.
11. Ашихмин, А. А. Геолого-минералогические особенности ураноносного гидротермального процесса Ишимского рудного поля: дис... канд. геолого-минералогических наук / Ашихмин А. А. – М., 1967. – С. 7 - 16.
12. Цапалов, А. А. Принцип обнаружения участков с активной геодинамикой на основе анализа отношения активностей Pb-210/Ra-226 в пробах грунта / А. А. Цапалов, П. С. Микляев, Т. Б. Петрова // Анри. – 2013. - №1. – С. 9 – 11.

### КАЛАЧИ АУЫЛЫ ОРНАЛАСҚАН АУМАҚТЫҢ ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

С.Б. Субботин, С.Н. Лукашенко, К.Л. Зеленский, В.В. Романенко, В.И. Супрунов, М.А. Мельничук

*ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатова, Қазақстан*

Мақалада, Калачи а. орналасқан аумақтың геологиялық құрылымының ерекшеліктерін талдамалау нәтижелері келтірілген. Ауылдың өзі оған қоса жақын орналасқан жабылған уран кенішінің инфрақұрылымымен бірге тектоникалық құрылымның ірі омырылуы қиып өтетін ай-мақта орналасқаны белгілі. Аталған құрылымдар жер қойнауынан газтәрізді өнімдердің түсу жолы арқылы өтіп, ауылдың тұрғындарында «ұйқы» синдромын тудыруы мүмкін. Осы бол-жамның дәлелі ретінде тұрғын ауылдың аумағында орналасқан геодинамикалық белсенді аймақ-тарды атауға болады. Аталған факторлар, осы аумақтың геологиялық құрылымының ерекшеліктеріне байланысты болып, ауылдың аумағында орын алған экологиялық қолайсыздық жайлы нұсқаға негіз бола алады.

Бұл жұмыста, геодинамикалық-белсенді аймақтарды контурлау және анықтау бойынша зерттеулердің нәтижелері, газды мониторингілеу бойынша деректер берілді, және одан ары қа-рай зерттеулер өткізу бойынша ұсыныстар әзірленді.

*Кілт сөздер:* Калачи ауылы, Ишим кенорны, геологиялық құрылым, бұрғылау ұңғымасы, жерасты сулары, топырақ, геодинамикалық-белсенді аймақ, «ұйқы» синдромы.

### PECULARITIES IN GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE KALACHI SETTLEMENT TERRITORY

S.B. Subbotin, S.N. Lukashenko, K.L. Zelenskiy, V.V. Romanenko, V.I. Suprunov, M.A. Melnichuk

*Branch “Institute of Radiation Safety and Ecology” RSE “NNC RK”, Kurchatov, Kazakhstan*

The article presents results of the feature analysis of geological structure in the territory of Kalachi small village. It is noted that the small village itself with the adjacent infrastructure of a mothballed uranium mine are located in the zone where two major tectonic structures of faults intersect. These structures can be pathways of gaseous products from bowels of the Earth that cause villagers to have a “sleeping” syndrome. This assumption is confirmed by geodynamically active zones identified in the territory of the housing small village. The existence of these factors suggests unfavourable environmental conditions in the territory of the small village which is related to features of geological structures of the given territory.

Findings to identify and delineate geodynamically active zones are presented, data given on gas monitoring, proposals developed to conduct further research.

*Key words:* Kalachi small village, Ishim deposit, geological structure, borehole, ground water, soil, geodynamically active zone, “sleeping” syndrome.

УДК 577.4:504.064:551.49:539.16

## ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ПЯВ НА СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ КАЛБА-ЧИНГИЗСКОГО РАЗЛОМА

<sup>1)</sup> Субботин С.Б., <sup>1)</sup> Зеленский К.Л., <sup>1)</sup> Новикова Е.А., <sup>2)</sup> Бахтин Л.В., <sup>3)</sup> Горбунова Э.М.

<sup>1)</sup> Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

<sup>2)</sup> РГП «Институт геофизических исследований» МЭ РК, Курчатов, Казахстан

<sup>3)</sup> Институт динамики геосфер РАН, Москва, Россия

В статье представлен обзор результатов исследований по состоянию подземных вод в зоне влияния Калба-Чингизского тектонического разлома на участке выхода его за пределы юго-западной части площадки «Балапан» бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП). В статье представлены результаты исследования реакции геологической среды на взрывное воздействие подземного ядерного взрыва (ПЯВ) на основе анализа архивных материалов с учетом современных данных, полученных по бюджетным темам и проектам МНТЦ. Представлены результаты исследований уровней радиоактивного загрязнения подземных вод по двум участкам, расположенных в зоне Калба-Чингизского разлома, на примере ПЯВ проведенного в «боевой» скважине 1388. Показано как гидродинамические эффекты при ПЯВ могут повлиять на характер радиоактивного загрязнения подземных вод. В целом, распределение <sup>3</sup>H и <sup>90</sup>Sr согласуется с эпицентральной расстоянием и основным направлением подземного потока.

Наличие трития в подземных водах на участке «Западный» свидетельствует о наличии миграции техногенных радионуклидов в северо-западном направлении по зоне Калба-Чингизского разлома за границы площадки «Балапан».

**Ключевые слова:** региональный разлом, «боевая» скважина 1388, подземные воды, ядерное испытание, геологическое строение и гидрогеологические условия, радионуклидное загрязнение.

### ВВЕДЕНИЕ

Анализ радиационной обстановки территории Семипалатинского испытательного полигона является одной из наиболее важных геоэкологических задач. Исследования показали, что радиоактивное загрязнение подземных вод происходит в результате их проникновения по техногенным трещинно-разломным системам в зоны необратимых деформаций, где формирование источника повышенной концентрации радионуклидов связано с поступлением радиоактивных продуктов ПЯВ в зоны деструкции горных пород [1, 2].

Одним из основных возможных путей миграции радионуклидов за пределы площадки является региональный Калба-Чингизский тектонический разлом. На площадке «Балапан» проведено 106 ПЯВ в вертикальных скважинах (далее «боевые» скважины) [3]. Из них 6 ПЯВ проведено в зоне влияния Калба-Чингизского разлома (скважины №№ 1354, 1384, 1353, 1388, 1352, 1350).

Калба-Чингизский региональный разлом пересекает южную часть испытательной площадки «Балапан». Этот разлом является самым крупным региональным разломом на территории СИП. Зоны влияния разлома характеризуются повышенной трещиноватостью, наличием зон дробления, брекчирования, рассланцевания и гидротермально-метаморфических изменений вмещающих горных пород. Мощность его зоны влияния в отдельных местах достигает нескольких километров. Строение зоны влияния характеризуется чередованием зон сжатия и растяжения, где фильтрационные параметры горных по-

род увеличиваются более чем в 10 раз. В связи с чем скорость движения подземных вод в зоне влияния более интенсивная, чем в окружающих горных породах. Таким образом, в зоне влияния Калба-Чингизского разлома распространен особый тип трещинных вод, именуемый как трещинно-жильный. В связи с чем зона влияния Калба-Чингизского разлома на территории СИП считается одним из основных возможных путей выноса загрязненных подземных вод из мест проведения ПЯВ на площадке «Балапан» в подземные воды чистых территорий.

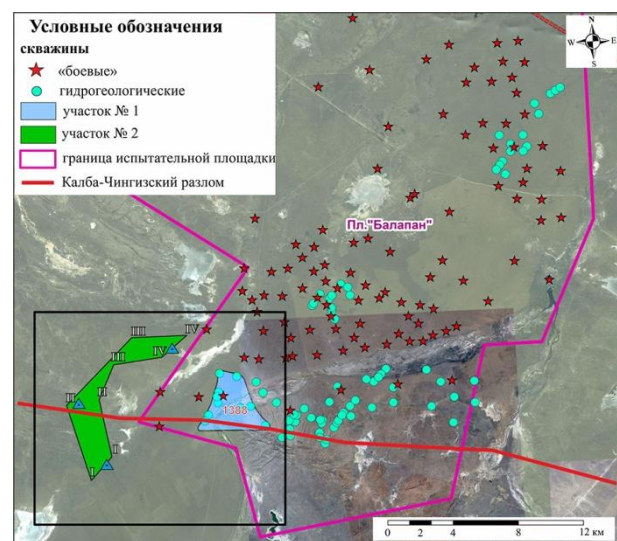


Рисунок 1. Площадка «Балапан». Схема расположения исследуемых участков

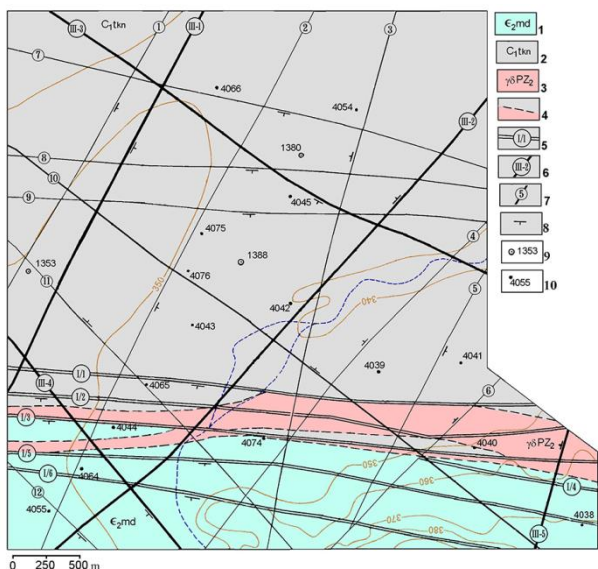
Для проведения исследований выбраны два участка: участок расположения «боевой» скважины 1388 и участок «Западный» (рисунок 1).

Оценка характера воздействия ПЯВ на состояние подземных вод проведена на основе архивных материалов с использованием современных данных, полученных по бюджетным темам и проектам МНТЦ.

В состав полевых исследований входили геолого-геофизические и опытно-фильтрационные работы. Методы отбора проб и проведения лабораторных анализов неоднократно использовались ранее и детально представлены в литературном источнике [4].

#### УЧАСТОК РАСПОЛОЖЕНИЯ «БОЕВОЙ» СКВАЖИНЫ 1388

Исследуемый участок расположен на крайнем юго-западе площадки «Балапан». 27 декабря 1987 г. в целях совершенствования ядерного оружия в скважине 1388 был проведен групповой ПЯВ двух ядерных зарядов мощностью 20–150 кт и 0,001–20 кт [1, 2]. Полевые работы по изучению инженерно-геологических условий участка расположения скважины 1388 (бурение скважин, геофизические и топогеодезические работы) проводились с 1985 г. по 1989 г. партией 27 экспедиции 16-го района ПГО «Гидроспецгеология». После ПЯВ наряду с проведением повторных работ на участке дополнительно было пробурено 6 наблюдательных скважин глубиной от 95 м до 136 м и 10 картировочных скважин глубиной от 15 м до 61 м. (рисунок 2).



породы: 1 - майданской свиты среднего кембрия, 2 - кояндинской свиты нижнего карбона, 3 - интрузивные образования верхнего палеозоя; 4 - геологическая граница; 5–7 - разломы, их ранги и номера: 5 - I порядка, 6 - III порядка, 7 - более высоких порядков; 8 - направление падения разлома; 9–10 - скважины и их номера: 9 - структурная, 10 - наблюдательная

Рисунок 2. Схема геологического строения участка

#### Геологическое строение и гидрогеологические условия

Территория участка разделена региональным Калба-Чингизским глубинным разломом на две различные структурно-формационные зоны, неравные по площади (рисунок 2). Северная часть участка входит в состав Иртыш-Зайсанского мегасинклиниория и сложена нижнекаменноугольными терригенными, кремнистыми и вулканогенными отложениями (C<sub>1t</sub>kn). Южная часть приурочена к Чингиз-Тарбагатайскому мегаантиклинорию, образована породами среднего кембрия (Є<sub>2</sub>md) преимущественно вулканогенными, в значительной степени метаморфизованными и рассланцованными.

Участок исследований расположен в зоне влияния Калба-Чингизского разлома I порядка (рисунок 2). В северной части территории выделена субпараллельная региональному разлому ветвь разрывных нарушений более высоких порядков (7-9). Разрывные нарушения северо-западного и северо-восточного простирания представлены зонами повышенной трещиноватости и дробления. Выделенный ряд разломов III порядка ограничивает структурно-тектонические блоки (СТБ) соответствующего ранга. В пределах участка условно могут быть выделены 4 блока: центральный, северо-восточный, восточный и зона влияния регионального разлома, охарактеризованные средневзвешенными значениями граничных скоростей, определенными вдоль III преломляющей границы, приуроченной к кровле относительно монолитных пород. Поверхность кровли коренных пород, в пределах, выделенных СТБ, осложнена погрешенным эрозийным врезом, возможно, сопряженным с палеодолиной реки Шаган (рисунок 3).

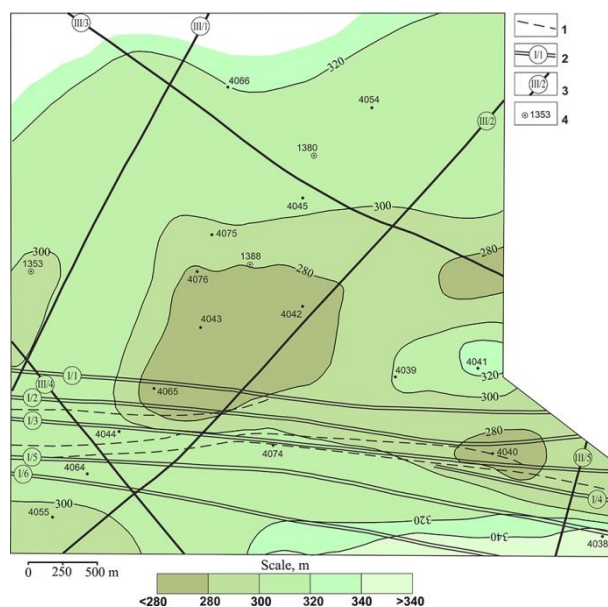


Рисунок 3. Схема палеорельефа участка

Палеорельеф юго-восточного блока неоднороден за счет наличия останца – небольшой возвышенности, возможно связанной с неглубоким залеганием интрузивного образования. В южной зоне влияния Калба-Чингизского разлома кровля пород кембрия наклонена на север, абсолютные отметки палеорельефа уменьшаются от 340 м до 300 м. Палеорельеф в северной зоне влияния регионального разлома наиболее переуглублен вдоль интрузивного образования, вытянутого в субширотном направлении [5].

#### Подземные воды

Подземные воды трещинного и трещинно-жильного типа приурочены, соответственно, к зонам экзогенного выветривания и разрывным нарушениям палеозойского фундамента. Грунтовые воды получают спорадическое развитие в рыхлой толще мезокайнозойских образований. В местах выклинивания глин неогена прослежено формирование единого водоносного комплекса порово-трещинных вод (скв.4041 и скв.4040 соответственно). Подземные воды вскрыты на глубине от 2,1 м (скв. 4041) до 78,5 м (скв. 4065). Пьезометрические уровни изменяются от 4,1 м (скв. 4039) до 23 м (скв. 4044), создавая напор до 61,7 м (скв. 4055) в естественных условиях в пределах участков наиболее глубокого залегания кровли коренных пород (рисунок 4).

По данным скважинной расходомерии установлено закономерное снижение обводненности трещиноватого массива с глубиной. Коэффициент фильтрации составляет 1–1,6 м/сут, возрастая в зонах тектонической трещиноватости до 5 м/сут и более. Режим подземных вод преимущественно равнинный. Естественные колебания уровней не превышают 3–5 см/сут [5].

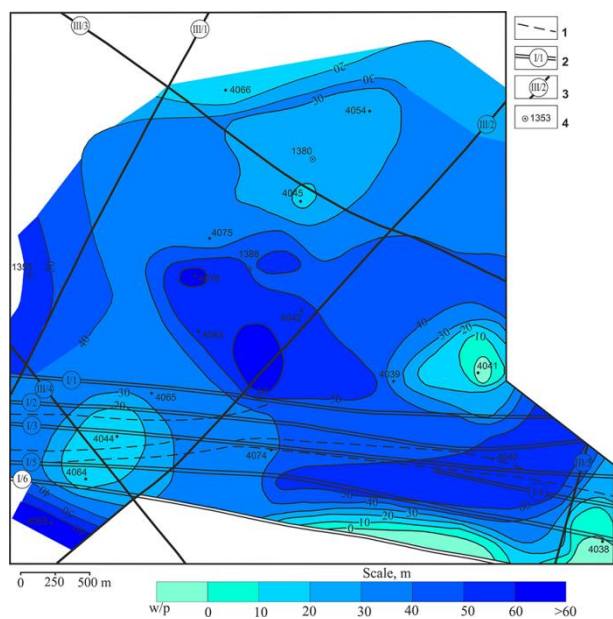


Рисунок 4. Схема распределения напоров подземных вод на объекте 1388 до взрыва

#### Гидродинамическая обстановка при проведении ПЯВ в скважине 1388

При оценке характера радиоактивного загрязнения подземных вод в результате нарушения гидрогеодинамической обстановки при проведении ПЯВ в скважине 1388 выделены следующие характерные фазы. На рисунке 5, а представлена карта гидроизогипс исследуемого участка до проведения ПЯВ в «боевой» скважине 1388.

В первые часы после взрыва был зафиксирован самоизлив воды из наблюдательных скважин 4042 и 4043, расположенных в пределах центрального СТБ. В течение следующих четырех месяцев после ПЯВ в пределах центрального СТБ воронка депрессии получает максимальное развитие, снижение уровня подземных вод в радиусе 0,5 км от эпицентра достигало 60 м (рисунок 5, б). В юго-восточной части регионального разлома, тяготеющей к области питания, снижение менее выражено (в скв. 4038 на 4,5 м) (рисунок 5, в). В северо-восточном СТБ отмечено незначительное снижение пьезометрической поверхности (на 4,4 м за месяц по скв. 4054), восстановленное в течение года. Режим подземных вод в юго-западном СТБ не изменился (рисунок 5, г). Основная разгрузка подземных вод происходит в северо-восточном направлении (рисунок 5, д) [5–6]. По результатам наблюдений в 2015 году в центральной части отмечено формирование воронки депрессии (рисунок 5, е). Т.е. в районе эпицентральной зоны скважины 1388 происходит погружение потока подземных вод с последующим дренированием их в зону влияния Калба-Чингизского разлома [4].

В естественных (ненарушенных) условиях в центральном СТБ и в зоне влияния регионального разлома минерализация возрастает от 3,62–3,82 г/л до 4,22–5,54 г/л. В восточном СТБ увеличивается от 4,1 г/л до 4,45 г/л. Проведение ПЯВ приводит к неоднозначным изменениям солевого состава в пределах СТБ. В центральном СТБ, в пределах формирующейся воронки депрессии, минерализация подземных вод возрастает, достигая максимально высоких значений (до 11,11 г/л в скв. 4042) при наибольшем снижении пьезометрической поверхности через три месяца после взрыва. В юго-западной части разлома также прослежена тенденция увеличения минерализации за счет дренирования водоносного горизонта. Напротив, в юго-восточной части отмечено уменьшение минерализации, предположительно, связанное с подтягиванием пресных вод из периферийной части воронки. В восточном СТБ наряду с кратковременным увеличением минерализации (на 0,45 г/л) в связи с общей тенденцией снижения уровня в течение 8 месяцев прослежено снижение минерализации. В северо-восточном и юго-западном СТБ минерализация подземных вод стабильна.

ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ПЯВ НА СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД  
В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ КАЛБА-ЧИНГИЗСКОГО РАЗЛОМА

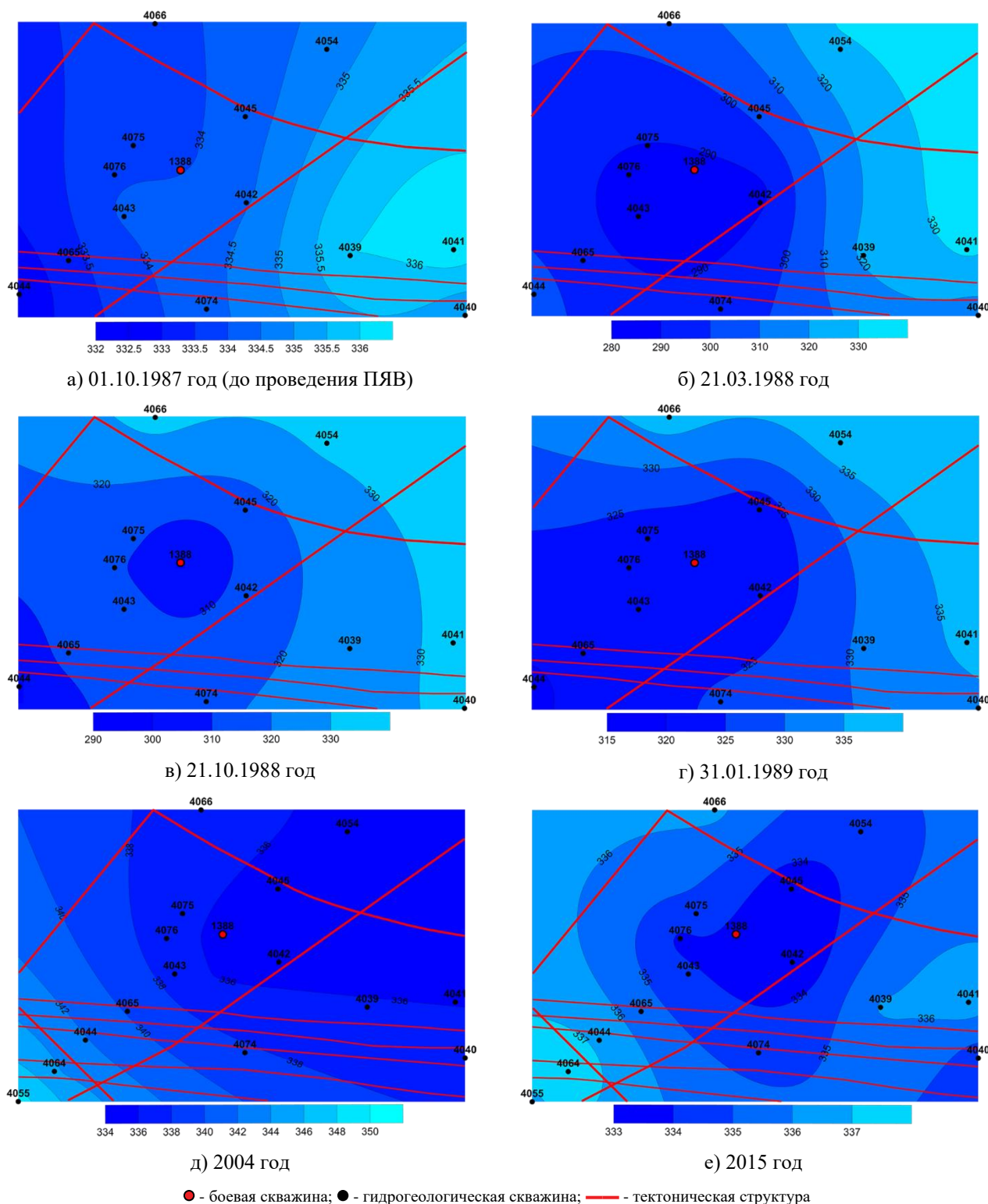


Рисунок 5. Схема пьезометрической поверхности на объекте 1388 до и после взрыва, также новые данные

Химический состав подземных вод через 17 лет после ПЯВ не претерпел значимых изменений. В эпицентральной зоне (в радиусе 0,3 км) преобладают хлоридно-сульфатные натриево-калиевые воды с минерализацией до 8,7–11,8 г/л. Повсеместно распространены сульфатно-хлоридные натриево-калие-

вые воды с минерализацией до 3,9–6,8 г/л. Повышенная соленость вод в эпицентре ПЯВ может быть связана с частичным поступлением трещинно-жильных вод в основной горизонт трещинно-пластовых вод при ПЯВ.

### Характер радиоактивного загрязнения подземных вод

Котловые полости взрыва в скважинах расположены значительно ниже уровня подземных вод. Такое расположение способствует поступлению подземных вод в образовавшиеся после проведения ПЯВ зоны необратимых деформаций (таблица 1). Повышенные температуры в полости сохраняются долгое время в связи с наличием толщи перекрывающих пород, что приводит к тепловой конвекции подземных вод.

Таблица 1. Расчетные параметры зон необратимого деформирования ПЯВ в скважине 1388

Зона необратимого деформирования массива горных пород	Радиус зоны, м
Полость	50
Зона смятия	80
Столб обрушения	250 (высота)
Зона дробления	125
Зона интенсивной трещиноватости	250
Зона блоковой трещиноватости (подновления естественных трещин)	350
Зона откола (максимальная мощность)	1000 (до 15)

По результатам данных лабораторных анализов, проб подземных вод, отобранных из гидрогеологических скважин в разные годы, можно отметить, что во всех пробах воды содержание  $^{239+240}\text{Pu}$  не превышает МДА ( $<0,002$  Бк/кг), концентрация  $^{137}\text{Cs}$  находится в пределах от  $<0,01$  до  $1,5$  Бк/кг. Для большинства проб концентрация  $^{90}\text{Sr}$  варьирует от  $<0,01$  до  $2,0$  Бк/кг. Максимальная концентрация  $^{90}\text{Sr}$  обнаружена в воде из скважины 4075, где она составила  $37$  Бк/кг, что более чем в  $7$  раз превышает установленный ГН СЭТОРБ УВ по содержанию в питьевой воде [8]. Концентрация трития в подземных водах изменяется в широком диапазоне значений. Максимальная концентрация трития обнаружена в скважине 4075 в 2004 году, где она достигла  $562$  кБк/кг [4–7].

При сравнительном анализе данных за разные годы можно отметить, что процесс тритиевого загрязнения подземных вод на площадке «Балапан» ещё не стабилизировался. В воде скважин 4009, 4093, 4141, 4076 и 4100 прослеживается общая тенденция к уменьшению удельной активности  $^3\text{H}$ . В скважинах 4098, 4027 и 4020 наблюдаются колебания концентрации  $^3\text{H}$  как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения. В воде из скважины 4075 отмечаются незначительное колебание удельной активности трития при стабильно высоком его содержании. В воде скважины 4028 отмечается увеличение удельной активности  $^3\text{H}$ . Наблюдаемые изменения удельной активности  $^3\text{H}$  в подземных водах могут быть связаны с изменением гидрогеологического режима, сезонностью наблюдения и т.д.

На рисунке 6 представлены схемы пространственного распространения трития в 2004 и 2015 гг.

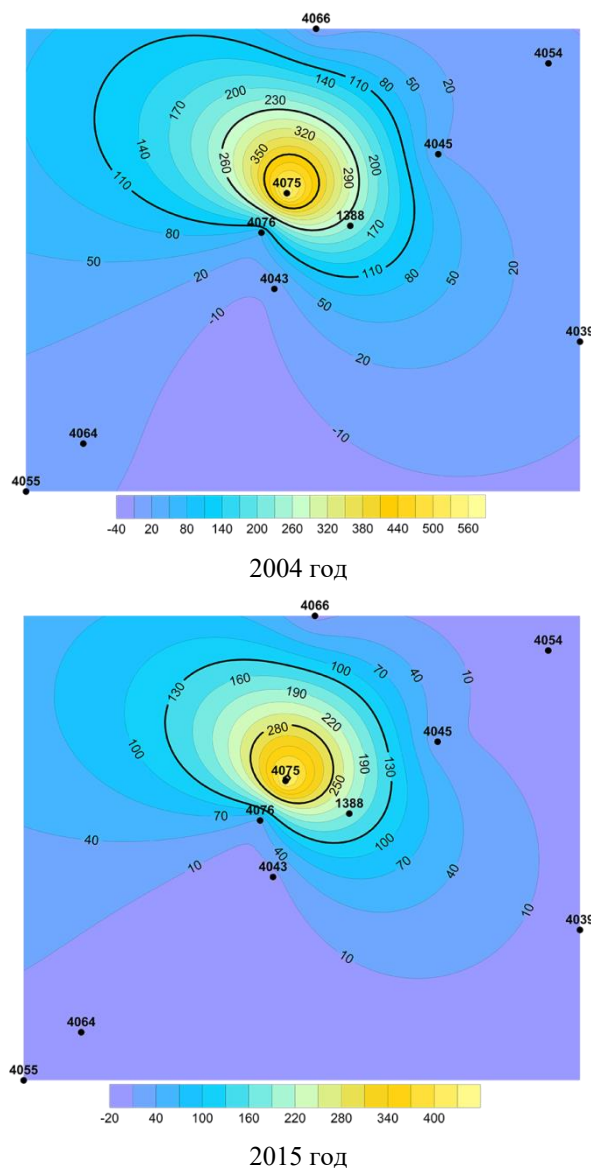


Рисунок 6. Схема распределения  $^3\text{H}$ , (кБк/кг)

При сопоставлении данных по размерам и форме депрессионной воронки (рисунок 5, б и 5, е) с ореолом тритиевого загрязнения подземных вод можно отметить некоторое сходство. Вероятно, это связано с тем, что данные структуры расположены в пределах диаметра образовавшегося столба обрушения (примерно  $500$  м). После заполнения водой техногенных пустот, поток загрязненных вод начал поступать в водоносный горизонт именно по столбу обрушения.

По сравнению с 2004 годом в 2015 году отмечена тенденция снижения удельной активности  $^3\text{H}$ , что можно объяснить его радиоактивным распадом (период полураспада равен  $12$  лет). В настоящее время в районе эпицентральной зоны ПЯВ ореол радиоактивного загрязнения тритием подземных вод имеет округлую форму, вытянутую в северо-западном направлении.



### УЧАСТОК «ЗАПАДНЫЙ»

Исследования на данном участке проведены в 2013 году [4]. Участок расположен в северной части исследуемой территории, западнее границы испытательной площадки «Балапан» (рисунок 7). По результатам ранее проведенных работ [4] на данном участке было установлено наличие трития с концентрацией до 7000 Бк/кг.

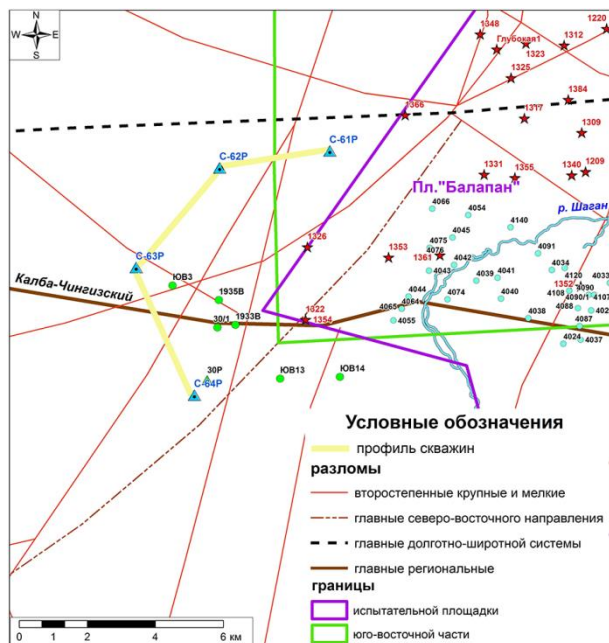


Рисунок 7. Схема расположения профиля колонковых скважин

Предварительно проводилось дешифрирование аэро- и космоснимков и рекогносцировочное обследование участков работ. Для получения более детальной информации о состоянии скального фундамента и наличии обводненных зон проводились геофизические исследования. По результатам интерпретаций полученных данных выделялись тектонические нарушения и обводненные зоны, в пределах которых затем закладывались точки бурения гидрогеологических скважин. После опытно-фильтрационных работ в скважинах, проводился отбор проб подземных вод на радионуклидный анализ.

Изучаемый участок представляет собой мелкосопочную равнину, территория перекрыта рыхлыми и глинистыми отложениями. Около 40 % территории сложено интрузивными образованиями различного состава. На остальной части распространены палеозойские осадочные образования каменноугольного возраста.

Южная часть – южное крыло Калба-Чингизского разлома, – сложена кембрийскими осадочно-эффузивными и метаморфическими отложениями, которые на отдельных участках прорваны гранитоидными интрузиями девонского возраста.

На данной территории распространены в основном трещинные воды зоны выветривания палеозойских, мезозойских отложений и разновозрастных интрузивных пород, а также поровые воды рыхлых отложений.

### Геофизические исследования в обоснование заложения скважин

Были вынесены и закреплены на местности точки начала и конца 4-х профилей, длиной по 2000 п. м. для проведения геофизических исследований. На профилях выполнены электроразведка методом зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ) и магниторазведка.

На профиле I в интервале ПК1400 – ПК2000 выделяется зона, характеризующаяся высоким значением проводимости (7–200 См/м), в несколько раз превышающая фоновые значения электропроводности (1–4 См/м). Она проинтерпретирована как зона обводненной трещиноватости, или как литологический контакт пород. Интервал ПК100 – ПК1300 также характеризуется низкой проводимостью (1–2 См/м), но этот блок сложен электропроводными алевролитами. На профилях II и III нет явных проявлений тектонических зон. Но на профиле III в интервале ПК550 – ПК750 присутствует зона экзогенной трещиноватости на глубине 13–16 м, что проявляется в более высоких значениях кажущейся проводимости (4–6 См/м) по сравнению с фоновыми значениями (0,5–2 См/м). На профиле IV (рисунок 8) в интервале ПК600 – ПК900 по данным ЗСБ отмечены высокие значения проводимости (8–100 См/м) на фоне значений электропроводности (1–4 См/м), которые проинтерпретированы как тектонически ослабленная зона. Блоки пород от ПК100 до ПК600 и от ПК1050 до ПК2000, сложен алевролитами и на геоэлектрическом разрезе характеризуются низкой проводимостью (1–2 См/м).

Сравнение магнитного поля с геоэлектрическими разрезами кажущейся электрической проводимости показало, что зоны повышенной трещиноватости и дробления отмечаются понижением значений напряженности магнитного поля. Повышенными значениями напряженности магнитного поля отмечаются интрузии гранитов и гранодиоритов. По профилю IV выявлены пониженные значения магнитной напряженности между ПК 600 - ПК1050, что отвечает разрывному нарушению [4].

### Уточнение гидрогеологических условий

Для изучения трещинных вод и оценки их гидрогеологических характеристик были пробурены 4 колонковые скважины (рисунок 7) глубиной до 60 м. Расстояние между скважинами составило около 4 км. Результаты лабораторных анализов проб подземных вод по определению удельной активности техногенных радионуклидов представлены в таблице 2.

**ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ПЯВ НА СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД  
В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ КАЛБА-ЧИНГИЗСКОГО РАЗЛОМА**

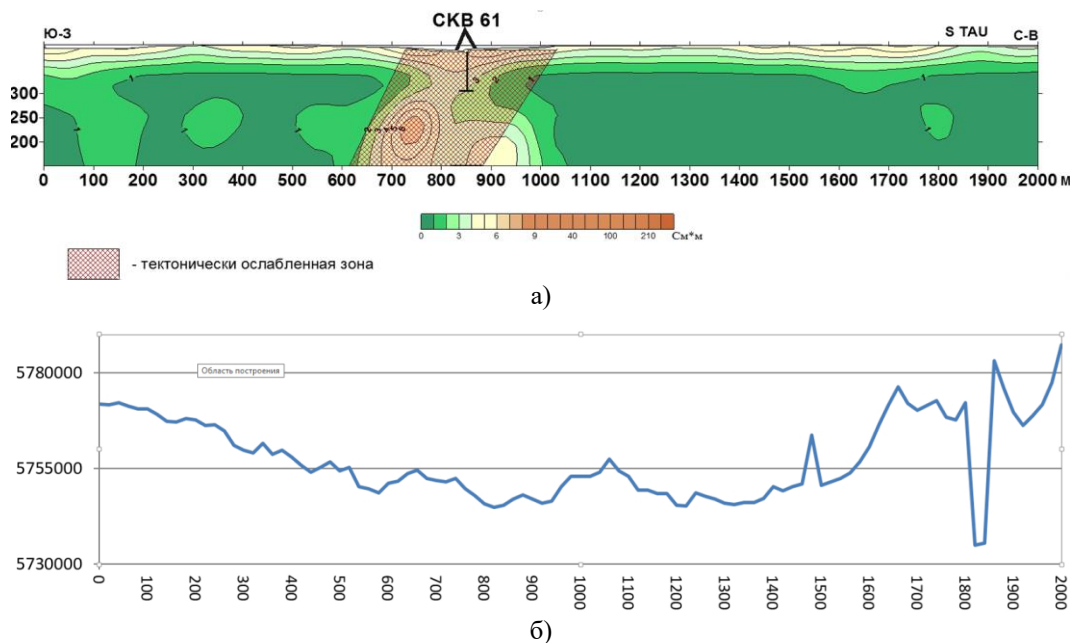


Рисунок 8. Участок работ. Профиль IV. Пример геоэлектрического разреза (а) кажущейся электрической проводимости (St) и графика магнитной напряженности (б)

Таблица 2. Результаты лабораторных анализов трещинных вод

№	Профиль	Номер скв.	Глубина скв., м	Уровень подземных вод, м	<sup>3</sup> H, Бк/кг	<sup>137</sup> Cs, Бк/кг	<sup>90</sup> Sr, Бк/кг	<sup>239+240</sup> Pu, Бк/кг
1	IV -IV	61P	56,6	7,0	<12	<0,011	<0,007	<0,0002
2	III - III	62P	60,0	11,7	45	<0,011	<0,01	<0,0005
3	II - II	63P	60,5	4,3	200	<0,01	<0,01	<0,0002
4	I - I	64P	63,5	12,75	200	<0,02	<0,01	<0,0005

Наибольшими значениями гидрогеологических параметров характеризуется скважина 64P. Дебит этой скважины составил (Q) 31,1 м<sup>3</sup>/сут; понижение уровня вод (S) – 8,55 м; удельный дебит (q) – 16,0 м<sup>3</sup>/сут; коэффициент фильтрации (Кф) – 0,022 м/сут. По скважине 62P гидродинамические показатели характеризуются наименьшими значениями: дебит скважины (Q) составил 2,7 м<sup>3</sup>/сут; понижение уровня воды (S) – 5,20 м; удельный дебит (q) – 1,4 м<sup>3</sup>/сут; коэффициент фильтрации (Кф) – 0,002 м/сут. По двум другим скважинам гидродинамические показатели имеют промежуточные значения между скважинами 61P и 64P.

Результаты сокращенного химического анализа показали, что вода относится к смешанному типу: сульфатно-натриево-кальциевый, натриево-сульфатно-хлоридный, сульфатно-натриевый. Общая минерализация воды изменяется от 4,7 мг/л до 10,7 мг/л, т.е. воды сильносоленоватые. По величине рН (5–6) воды имеют слабокислую и нейтральную реакцию. Жесткость воды составила от 22,4 до 45,6 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

Количественные значения содержания трития (200 Бк/кг) обнаружены в двух скважинах 63P и 64P, расположенных по обе стороны трассы региональ-

ного разлома. Концентрация <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr находится на уровне 0,02 Бк/кг, <sup>239+240</sup>Pu не превышает 0,0005 Бк/кг [4].

**Выводы**

Гидравлическая связь между выделенными СТБ может изменяться от совершенной до затрудненной в соответствии с составленными схемами пьезометрической поверхности, в пределах которых разница уровней достигает десятки метров. Однако, гидравлическая дискретность четко проявилась только при взрывном воздействии ПЯВ на ограниченных участках. В региональном плане исследуемый массив представляет единую гидравлическую структуру.

В настоящее время в районе эпицентральной зоны ПЯВ ореол загрязнения тритием подземных вод имеет округлую форму, вытянутую в северо-западном направлении. Существенное различие значений концентраций техногенных радионуклидов в подземных водах из скважин 4075 и 4076, а также из скважин 4043 и 4045 обусловлено различием параметров гидродинамической обстановки и фильтрационной структуры. В целом, распределение <sup>3</sup>H и <sup>90</sup>Sr в подземных водах согласуется с эпицентральной расстоянием и основным направлением подземного потока.

На участке «Западный» в подземных водах из техногенных радионуклидов только у трития обнаружены количественные значения в интервале от минимально детектируемой величины применяемого оборудования до 200 Бк/кг, которые не превышают установленных уровней вмешательства по содержанию трития в питьевой воде [8]. С другой сторо-

ны, наличие трития на данном участке в подземных водах, распространенных в зоне влияния Калба-Чингизского разлома свидетельствует о наличии миграции техногенных радионуклидов в северо-западном направлении и требует проведения регулярного мониторинга подземных вод на данном направлении.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Мирные ядерные взрывы: обеспечение общей и радиационной безопасности при их проведении. М.: Изд.АТ, 2001. – 519 с.
2. Механическое действие ядерного взрыва. М.: Физматлит, 2002. – 384 с.
3. Семипалатинский испытательный полигон. Создание, деятельность, конверсия / Под рук. В.С. Школьника. – Алматы, 2003.
4. Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона: отчеты по программе 011 / ИРБЭ; рук. Лукашенко С. Н. - Курчатова, 2005–2010.
5. Исследование миграции радионуклидов с подземными водами на территории Семипалатинского полигона с целью прогноза возможных последствий радиоактивного загрязнения питьевой воды и геологической среды: проект МНТЦ К-810. - Москва, 2002–2004.
6. Организация системы мониторинга состояния подземных вод на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона: годовые отчеты по проекту МНТЦ К - 893 / рук. Субботин С. Б., Пестов Е. Ю. – Курчатова: ИРБЭ НЯЦ РК, 2003–2007.
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 радиозащиты Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2010 г.] - Павлодар: Дом печати, 2011. – Т. 2. – Вып. 3. – С. 161–232.
8. Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности»: утв. Постановлением Правительства РК № 201 от 03.02.2012. Приложение 4.

#### **ҚАЛБА-ШЫҢҒЫС ОМЫРЫЛУЫНЫҢ ӘСЕР ЕТУ АЙМАҒЫНДА ЖЕРАСТЫ СУЛАРЫНЫҢ ЖАЙ-КҮЙІНЕ ӨТКІЗІЛГЕН ЖҰЖ САЛДАРЫНЫҢ ӘСЕРІ**

<sup>1)</sup> С.Б. Субботин, <sup>1)</sup> К.Л. Зеленский, <sup>1)</sup> Е.А. Новикова, <sup>2)</sup> Л.В. Бахтин, <sup>3)</sup> Э.М. Горбунова

<sup>1)</sup> ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты», Курчатова қ., Қазақстан

<sup>2)</sup> ҚР ЭМ «Геофизикалық зерттеулер институты» РМК, Курчатова қ., Қазақстан

<sup>3)</sup> РФА Геосфералар динамикасының институты, Мәскеу қ., Ресей

Мақалада, бұрынғы ССП «Балапан» алаңының оңтүстік-батыс бөлігінен тыс жерлерге шығар тәлімде Қалба-Шыңғыс тектоникалық омырылуының әсер ету аймағында жерасты суларының жай-күйін зерттеу нәтижелеріне шолу жасалған. Бұл мақалада, ХҒТО жобалары мен бюджеттік тақырыптары бойынша алынған заманауи деректерді есепке ала отырып мұрағат материалдарының талдамасы негізінде жерасты ядролық жаралыстардың жарылыстық әсеріне геологиялық ортаның реакциясын зерттеу нәтижелері келтірілді. №1388 «әскери» ұңғымада өткізілген ЖҰЖ үлгісінде Қалба-Шыңғыстық омырылу аймағында орналасқан екі тәлім бойынша радиоактивті ластанған жерасты суларының деңгейін зерттеу нәтижелері келтірілді. ЖҰЖ кезінде гидродинамикалық әсерлер жерасты суларының радиоактивті ластану сипатына қалай әсер етуі мүмкін екені көрсетілді. Жалпы алғанда, жерасты ағын суының негізгі бағыты мен эпицентрлік арақашықта <sup>3</sup>H және <sup>90</sup>Sr таралуы қиысады.

«Западный» тәліміндегі жерасты суларында тритийдің болуы «Балапан» алаңының шекарасынан тыс Қалба-Шыңғыстық омырылу аймағы бойымен солтүстік-батыс бағытта техногенді радионуклидтердің жылыстауы орын алғанын көрсетеді.

*Кілт сөздер:* аймақтық омырылу, №1388 «әскери» ұңғыма, жерасты сулары, ядролық сынақ, геологиялық құрылым және гидрогеологиялық жағдайлар, радионуклидтік ластану.

**IMPACT BY UNE CONSEQUENCES ON GROUND WATER STATE  
IN THE ZONE AFFECTED BY KALBA-CHINGIZ RIFT**

<sup>1)</sup> S.B. Subbotin, <sup>1)</sup> K.L. Zelensky, <sup>1)</sup> Ye.A. Novikova, <sup>2)</sup> L.V. Bakhtin, <sup>3)</sup> E.M. Gorbunova

<sup>1)</sup> Branch «Institute of Radiation Safety and Ecology» RSE «NNC RK», Kurchatov, Kazakhstan

<sup>2)</sup> RSE «Institute of Geophysical Research» ME RK, Kurchatov, Kazakhstan

<sup>3)</sup> «RAS Institute of Geosphere Dynamics», Moscow, Russia

The article presents a review of findings on conditions of ground water in the impact zone of Kalba-Chingiz tectonic rift in the area it goes beyond the south-western part of “Balapan” site at the former STS. The article gives findings of geological medium response to explosive effect from an underground nuclear explosion based on the analysis of archival materials given present data obtained for budget subjects and projects of ISTC. Findings for levels of radioactively contaminated ground water are presented in two sections located in the zone of Kalba-Chingiz rift the case of UNE conducted in “warfare” borehole 1388. Hydrodynamic effect during UNE are shown to be able to impact the form of radioactive contamination in ground water. On the whole, <sup>3</sup>H and <sup>90</sup>Sr distributions are in agreement with epicentral distance and the main direction of the underground flow.

Presence of tritium in ground water in “Zapadny” area is indicative of migration of technogenic radionuclides in the north-western direction along the zone of Kalba-Chingiz rift outside “Balapan” site borders.

*Key words:* regional rift, “warfare” borehole 1388, ground water, nuclear test, geological structure and hydrogeological conditions, radionuclide contamination.

УДК 575: 612.1:614.876

**ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ФАКТОРОВ СТРЕСС-СИГНАЛИЗАЦИИ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ПЛАЗМЫ КРОВИ ЛЮДЕЙ, ПОДВЕРГАЮЩИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ РАДИАЦИИ**

Чердниченко О.Г., Губицкая Е.Г., Пилюгина А.Л.

*Институт общей генетики и цитологии МОН РК, Алматы, Казахстан*

Представлены результаты изучения генетических эффектов факторов стресс-сигналикации, выделенных из плазмы облученной *in vitro* крови, крови людей, профессионально подвергающихся воздействию радиации и ликвидаторов ЧАЭС. Показано, что факторы стресс-сигналикации не передаются при прямом контакте между клетками, а выделяются ими в плазму или культуральную среду. При этом факторами обуславливающими эффект свидетеля могут выступать фрагменты вДНК, выделенные из облученной крови. Это продемонстрировано введением в культуральную среду интактных лимфоцитов, внеклеточной ДНК, выделенной из образцов плазмы облученной *in vitro* крови. При этом в лимфоцитах-свидетелях наблюдалось развитие тех же реакций, что и в облученных клетках, т.е. увеличение частоты хромосомных aberrаций. Более того, добавление к интактным лимфоцитам вДНК, выделенной из плазмы крови людей облученных *in vivo* в силу своей профессиональной деятельности или ликвидаторов ЧАЭС также увеличивает в них частоту хромосомных aberrаций, что свидетельствует о наличии в их плазме «байстендер» факторов (факторов стресс-сигналикации), которые сохраняются в крови длительное время после облучения.

**ВВЕДЕНИЕ**

Как известно ионизирующее излучение изменяет состояние клеточных защитных механизмов: систем антиоксидантной защиты, репарации ДНК, регуляции клеточного цикла, апоптоза и др. Исследование молекулярных и клеточных механизмов, лежащих в основе эффектов облучения, является одной из ключевых и наиболее актуальных задач радиационной биологии.

Среди прямых повреждений ДНК, вызываемых ионизирующим излучением, особое внимание заслуживают двунитевые разрывы (ДР) ДНК, не устранение которых в ходе репарации ДНК, приводит к цитогенетическим нарушениям и гибели клеток. Возможно, что именно они являются основным триггером, запускающим процессы клеточного отклика на воздействие ионизирующего излучения. При этом индуцированные радиацией события могут наблюдаться как в облученных, так и в соседних клетках, избежавших попадания ионизирующих частиц. Это явление – показанное и для агентов разной природы – получило название эффекта «свидетеля», при котором происходит передача сигнала (стресс-сигналикация) между облученными и интактными клетками. Таким образом, могут передаваться, например, сигналы индукции хромосомных aberrаций, инициации апоптоза или адаптивного ответа. Однако, открытие этих клеточных реакций, ставит вопрос о природе и происхождении в среде облученных клеток факторов стресс-сигналикации. Несмотря на активные исследования в этом направлении природа всех факторов сигнальной системы при радиорезистентности и эффекте свидетеля до конца не ясна.

На роль факторов стресс-сигналикации предложено много кандидатов. Основное внимание сосредоточено на факторах белковой природы, которые могут экскретироваться облученными клетками и

при взаимодействии с клеточными рецепторами клеток свидетелей активировать сигнальные пути. Вместе с тем в последние годы появляются данные о том, что фрагменты ДНК с определенными последовательностями при взаимодействии с соответствующими рецепторами клеток активируют белки семейства стресс-ассоциированных протеинкиназ. Возможными источниками таких факторов, отвечающих за индукцию радиорезистентности и возникновение эффекта свидетеля, могут быть ДНК разного происхождения. Либо это ДНК являющиеся результатом повышения экспрессии некоторых генов в ответ на радиационное воздействие, либо радиочувствительные клетки, гибнущие под действием радиации, т.е. фрагменты внеклеточной ДНК, переходящие в среду культивирования из апоптотических клеток. Таким образом, механизмы индукции радиорезистентности могут включать участие процессов репарации ДНК, апоптоза, всевозможных каскадов сигнальных реакций, конформационных изменений ДНК, и др.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

*Радиационная обработка ( $\gamma$ -излучение)* — Цельную кровь в пластиковых флаконах облучали  $\gamma$ -квантами на аппарате дистанционной лучевой терапии с кобальтовым зарядом «Террагам» с номинальной энергией ускоренных электронов 1,5 МэВ с мощностью доз 0,1Гр/мин. Использовали дозы 0,05 Гр; 2 Гр.

*Культивирование лимфоцитов и приготовление препаратов.* 0,5 мл периферической крови добавляли к 4,5 мл среды культивирования, состоящей из 80 % среды HAMs с глутамином (2мМ), 20 % сыворотки КРС, пенициллина 100 ед/мл, стрептомицина 100 ед/мл. Деление лимфоцитов стимулировали 2 % ФГА. Клетки инкубировали при 37 °С. Для накопления метафазных пластинок, в культуральную среду за 2 часа до фиксации вводили колхицин в конечной

концентрации 0,8 мкг/мл. Для получения цитогенетических препаратов клетки гипотонизировали 0,075M KCl при 37 °С 15 минут, фиксировали смесью метиловый спирт/ледяная уксусная кислота (3/1) и окрашивали 4 % раствором красителя Гимза [90]. При анализе метафазных пластинок определяли число клеток со стабильными абберациями, а также их число и тип на 100 проанализированных метафаз. Полученные данные обрабатывали статистическими методами [91].

*Определение природы передачи фактора стресс-сигнализации.* Цельную кровь от доноров мужчин облучали в дозе 0,05 Гр. Затем в эксперименте выделяли 3 варианта: 1) цельная кровь; 2) отмывтые лимфоциты (отбирали плазму, центрифугировали при 3000 об/мин. 10 минут, через 4 часа после облучения. Для отмывания к осажденным лимфоцитам добавляли 5 мл среды RPMI-1640, центрифугировали в том же режиме); 3) плазма (облученную цельную кровь центрифугировали при 3000 об/мин. 10 минут, через 4 часа после облучения и отбирали плазму). К каждому варианту добавляли цельную кровь от доноров женщин (совместимых по группе крови и резус-фактору). Далее смесь облучали дозой 2 Гр через 4 часа после воздействия малой дозой. Культивирование и хромосомный анализ проводили по описанной выше методике.

*Культивирование клеток для выявления эффекта свидетеля.* Лимфоциты переводили в среду, содержащую из питательной среды RPMI-1640 ("Sigma") и 10 % эмбриональной телячьей сыворотки (ПанЭко, Россия). Суспензии лимфоцитов инкубировали 2 ч при 37 °С, затем клетки осаждали центрифугированием, подвергали гипотонии и фиксировали, супернатанты замораживали. В дальнейших экспериментах из размороженных препаратов выделяли фрагменты вДНК с целью изучения их в качестве факторов стресс-сигнализации для клеток - свидетелей. Для этого суспензии лимфоцитов из крови других доноров инкубировали по стандартной методике описанной выше. Затем к каждой из них добавляли фрагменты вДНК, выделенные из среды инкубации лимфоцитов или плазмы крови предыдущих опытов. По истечении 48 ч инкубации (37 °С) готовили цитогенетические препараты для анализа хромосомных аббераций.

*Выделение фрагментов ДНК из среды инкубации лимфоцитов.* Клетки осаждали центрифугированием, выделяли 3 мл среды культивирования и к ней добавляли в конечной концентрации: 1 %-ный лаурилсаркозинат натрия, 0.02 моль/л ЭДТА и 75 мкг/мл РНКазы А ("Sigma"). Полученную суспензию инкубировали при 37 °С 45 мин., затем после прибавления протеиназы К (200 мк/мл) еще 24 ч. Далее насыщенным раствором фенола проводили экстракцию вДНК и осаждали ее этанолом в присутствии 2 моль/л раствора ацетата аммония (или с помощью китов фирмы Fermentas). Осадок промы-

вали 75 %-ным этанолом, высушивали и растворяли в воде. Концентрацию ДНК определяли методом флуоресценции красителя Hoechst 33528, связанного с ДНК.

*Выделение внеклеточной ДНК из плазмы периферической крови.* Образцы крови центрифугировали 5 мин при 1000 об/мин. и отбирали плазму. К 0,5 мл плазмы крови прибавляли 0,1 мл лизирующего буфера (10 %-ный лаурилсаркозилат натрия, 0.1 моль/л ЭДТА) и РНКазу А (75 мкг/мл), смесь инкубировали при 37 °С 1ч, затем гидролизовали протеиназой К (200 мкг/мл, 37 °С, 24 ч). Экстракцию ДНК из инкубационной смеси проводили насыщенным фенолом (2 раза), к фенольному экстракту затем прибавляли ацетат аммония (2 моль/л) и ДНК осаждали 0,8 объемами изопропанола (при -20 °С). Осадок ДНК отделяли центрифугированием, промывали 75 %-ным водным этанолом и растворяли в 30 мкл воды.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

К настоящему времени на разных объектах получены не только доказательства существования эффекта свидетеля в различных типах клеток и при различных сочетаниях ионизирующих облучений, но сделаны также попытки проследить механизм его формирования в плане изучения последовательных процессов на пути его реализации. В ходе обсуждений возник вопрос о возможности передачи фактора стресс-сигнализации. Ответ на этот вопрос требовал проведения ряда экспериментов *in vitro*.

«Эффект свидетеля» может быть обусловлен по крайней мере двумя механизмами: Межклеточными контактами («gap junction»), включающими Trp53-опосредуемый путь проведения сигнала повреждения. Другой механизм, не обусловленный непосредственными межклеточными контактами, может быть связан с секрецией биологически активных факторов в культуральную среду или плазму крови.

Исследование индукции эффекта свидетеля начато с решения вопроса выделяется ли он предоблученными клетками в плазму или передается при прямом контакте между клетками. Результаты представлены в таблице 1.

При совместном культивировании клеток крови разнополюх доноров (цитогенетический маркер – У-хромосома) обнаружено, что предоблучение мужских лимфоцитов в дозе 0,05 Гр с последующим облучением смеси 2 Гр  $\gamma$ -излучения снижает частоту хромосомных аббераций в женских лимфоцитах (12 % по сравнению с 26 % без предварительного облучения). Данный эффект наблюдается только в вариантах с предварительно облученной цельной кровью, но не с отмывтыми лимфоцитами (21 %).

Таким образом, можно предполагать, что фактор стресс-сигнализации вырабатывается предоблученными лимфоцитами и выделяется в плазму, а не передается при прямом контакте между клетками.

**ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ФАКТОРОВ СТРЕСС-СИГНАЛИЗАЦИИ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ПЛАЗМЫ КРОВИ ЛЮДЕЙ, ПОДВЕРГАЮЩИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ РАДИАЦИИ**

*Таблица 1. Определение фракции крови, содержащей фактор стресс-сигнализации*

Вариант	Клетки с абберациями	Всего аббераций	Структурные абберации	
			хромосомного типа	хроматидного типа
мужская цельная кровь + женская цельная кровь	12,0±1,4*	15,0±1,59*	4,0±0,88	11,0±1,3
мужские отмытые лимфоциты + женская цельная кровь	21,0±1,35**	26,0±1,38**	6,0±1,06	20,0±1,34
мужская плазма + женская цельная кровь	12,7±1,5*	12,0±1,4*	3,0±0,76	9,0±1,28
2 Гр	26,0±1,38	30,0±1,45	7,0±0,8	23,0±1,33
0,05/2Гр	17,0±0,20	18,0±0,21	8,0±0,86	10,0±0,9

Примечание: \*  $p \leq 0,01$ ; \*\*  $p \geq 0,01$

*Таблица 2. Изучение эффекта добавления облученной in vitro плазмы к необлученной крови*

Доза облучения плазмы (Гр)	Клетки с абберациями	Всего аббераций	Хромосомного типа	Хроматидного типа
0	1,0±0,44*	1,0±0,44	0	1,0±0,44
2	3±0,54	3±0,54	1±0,31	2,0±0,44

Примечание: \*  $p \leq 0,05$

*Таблица 3. Изучение формирования адаптивного ответа по механизму эффекта свидетеля*

Вариант	Клеток с абберациями	Всего аббераций	Хромосомного типа	Хроматидного типа
(среда 2 Гр + интактные клетки) 2 Гр	11,4±1,4	13,6±1,48	9,1±1,2	4,5±0,9
(плазма 2 Гр + интактные клетки) 2 Гр	7,56±1,18	7,56±1,18	6,72±1,1	0,84±0,41
(среда 0,05 Гр + интактные клетки) 2 Гр	12,0±1,4	15,0±1,59	10,0±1,3	5,0±0,97
(плазма 0,05 Гр + интактные клетки) 2 Гр	8,0±1,1	9,0±1,2	6,0±1,0	3,0±0,7
Интактные клетки	1,0±0,44*	1,0±0,44	0	1,0±0,44
2 Гр	26,0±1,38	30,0±1,45	23,0±1,33	7,0±0,8

Примечание: \*  $p \leq 0,01$

Для исключения возможного влияния чужеродной плазмы при индукции эффекта свидетеля проведен эксперимент с использованием крови одного индивидуума. Цельную кровь облучали дозой 2 Гр  $\gamma$ -излучения, через 4 ч. после экспозиции кровь центрифугировали при 1000 об/мин, 10 мин. для того, чтобы изолировать плазму. Сразу же после центрифугирования плазму смешивали с необлученной кровью.

Анализ результатов показал (таблица 2), что добавление облученной in vitro плазмы к необлученной крови увеличивает частоту хромосомных аббераций в не облученных клетках крови в 3 раза, т.е. наблюдается эффект свидетеля (bystander effect). Т.е. повышение хромосомных аббераций в необлученных клетках при их контакте с облученной плазмой свидетельствует о наличии определенного перемещающегося фактора стресс-сигнализации.

Для проверки этого предположения также были проведены эксперименты с использованием больших и малых доз облучения, а также плазмы и среды культивирования облученных клеток: 1) из облученной (0,05 Гр и 2 Гр) крови выделяли плазму; 2) облученные клетки переносили в культуральную среду без митогенной стимуляции ФГА. Через 4 ч. выделенную плазму из облученной крови и культуральную среду добавляли к интактным клеткам и их облучали дозой 2 Гр (таблица 3).

В результате обнаружено, что частота хромосомных аббераций в интактных клетках составила 7,56 % и 13,6 % соответственно по сравнению с

26 % при облучении клеток 2 Гр без предварительных манипуляций. Как видно из результатов эксперимента добавление облученной плазмы приводит к более существенному снижению хромосомных аббераций при воздействии повреждающей дозы. Таким образом, показано, что фактор стресс-сигнализации выделяется клетками в плазму или культуральную среду, который, с одной стороны, вызывает повышение хромосомных нарушений в интактных клетках (эффект свидетеля), с другой стороны, они же воспринимают его как защитный сигнал от повреждающей дозы облучения (адаптивный ответ), причем он не зависит от величины предварительного облучения.

Одной из важнейших характеристик гомеостаза является поддержание определенного соотношения между пролиферацией и гибелью клеток – фундаментальными характеристиками высших организмов, необходимыми для нормального развития и функционирования. При мутагенных воздействиях, как правило, увеличивается количество гибнущих клеток организма. К настоящему времени уже установлено, что небольшие количества ДНК обнаруживаются и вне клеток, прежде всего в плазме крови. Циркулирующая ДНК может появляться в кровотоке в результате гибели ядросодержащих клеточных элементов, созревания эритроцитов и тромбоцитов путем некроза или апоптоза, а также активной секреции нуклеиновых кислот во внеклеточное пространство. Интерес к внеклеточной ДНК плазмы крови в настоящее время все более возрастает, что

связано с прогностической и диагностической значимостью этого показателя при лучевом облучении, онкологических, аутоиммунных заболеваниях и др. До определенного времени считалось, что ДНК находится только в клеточных структурах: преимущественно в ядрах клеток и митохондриях, где она исполняет роль носителя генетической информации. К настоящему времени уже установлено, что небольшие количества ДНК обнаруживаются и вне клеток, прежде всего в плазме крови. Интерес к внеклеточной ДНК плазмы крови в настоящее время все более возрастает, что связано с прогностической и диагностической значимостью этого показателя при лучевом облучении, онкологических, аутоиммунных заболеваниях и др. Эта ДНК получила название внеклеточной ДНК (внДНК). Свойства и биологические функции фрагментов внДНК в норме и при патологии остаются малоизученными. Большинство авторов полагают, что состав внДНК идентичен составу ядерной ДНК (ядДНК), которая не способна воздействовать на клетки организма. Немногочисленные исследования свойств внДНК, в частности обнаружение накопления CpG-динуклеотидов, позволяют, однако, предположить, что фрагменты внДНК, циркулирующие в крови, небезразличны для организма. Доказано появление фракции внДНК в плазме крови при лучевой патологии уже через несколько часов после воздействия ионизирующих излучений [1, 2]. На роль факторов стресс-сигнализации претендуют кроме обнаруженных ранее стрессорных белков [3], также внДНК, содержащиеся в плазме крови или среде культивирования лимфоцитов.

В связи этим следующим этапом стало изучение генетических эффектов внДНК и частоты хромосомных aberrаций у людей подвергавшихся воздействию радиации и их возможная взаимосвязь. Чтобы определить, может ли внеклеточная ДНК быть фактором стресс-сигнализации при эффекте свидетеля в среду культивирования интактных лимфоцитов были добавлены внДНК, выделенные из плазмы крови здоровых людей, облученной *in vitro* 0,05 Гр дозой

радиации и необлученной (таблица 4).

Цитогенетический анализ показал, что в результате введения в культуральную среду, к интактным лимфоцитам, внеклеточной ДНК, выделенной из плазмы крови, облученной дозой 0,05 Гр  $\gamma$ -излучения в лимфоцитах-свидетелях (интактных лимфоцитах) эти фрагменты стимулируют развитие тех же реакций, что и в облученных клетках, т.е. наблюдается увеличение частоты хромосомных aberrаций, причем вне зависимости от концентрации внДНК в образце.

Для подтверждения этих результатов нами были проведены эксперименты по выделению внДНК из плазмы крови людей, профессионально контактирующих пробами различной интенсивности излучения и ликвидаторов ЧАЭС и изучению их влияния на интактные лимфоциты. Первым этапом этой серии экспериментов стало изучение спонтанной частоты хромосомных aberrаций в лимфоцитах крови облученных людей (таблица 5).

Анализ результатов цитогенетического обследования людей, подвергающихся воздействию радиации в силу своей профессиональной деятельности, показал значительное увеличение частоты хромосомных aberrаций ( $4,94 \pm 0,28$  %) по сравнению с контролем ( $0,87 \pm 0,1$  %). При этом aberrации хромосомного типа составили  $1,95 \pm 0,22$  % – маркеры радиационного воздействия и были представлены двойными разрывами и фрагментами, дицентриками и транслокациями. Хроматидные нарушения –  $3,26 \pm 0,23$  %, составляли одиночные разрывы и фрагменты. Цитогенетический анализ ликвидаторов ЧАЭС, подвергшихся более 25 лет назад воздействию радиации, также выявил у них значительное увеличение частоты хромосомных aberrаций  $4,46 \pm 0,62$  % по сравнению с контролем. Aberrации хромосомного типа составили  $3,83 \pm 0,58$  %, хроматидного типа –  $0,73 \pm 0,25$  %. Спектр хромосомных нарушений был аналогичным (таблица 5).

Таблица 4. Изучение эффекта добавления внДНК из плазмы *in vitro* облученной крови к интактным лимфоцитам

Вариант	Клеток с aberrациями	Всего aberrаций	Хромосомного типа	Хроматидного типа
внДНК (контроль) + интактные лимфоциты	$1,28 \pm 0,42$	$1,28 \pm 0,42$	$0,14 \pm 0,14$	$1,14 \pm 0,40$
Интактные лимфоциты	$1,0 \pm 0,44$	$1,0 \pm 0,44$	0	$1,0 \pm 0,44$
внДНК(0,05Гр) + интактные лимфоциты	$2,9 \pm 0,75$	$2,9 \pm 0,75$	$1 \pm 0,44$	$1,9 \pm 0,63$
Интактные лимфоциты 0,05 Гр	$4,4 \pm 0,92$	$4,4 \pm 0,92$	$2,0 \pm 0,63$	$2,4 \pm 0,63$

Примечание: \*  $p \leq 0,05$

Таблица 5. Изучение эффекта добавления внДНК из плазмы *in vivo* облученной крови к интактным лимфоцитам

Вариант	Клеток с aberrациями	Всего aberrаций	Хромосомного типа	Хроматидного типа
Среднее ликвидаторы ЧАЭС	$4,4 \pm 0,62$	$4,46 \pm 0,62$	$3,83 \pm 0,58$	$0,73 \pm 0,25$
внДНК ликвидаторов ЧАЭС + интактные лимфоциты	$2,09 \pm 0,42$	$2,91 \pm 0,51$	$2,73 \pm 2,46$	$0,18 \pm 0,13$
Среднее персонал, контактирующий с ИИР	$4,68 \pm 0,27$	$4,94 \pm 0,28$	$1,95 \pm 0,22$	$3,26 \pm 0,23$
внДНК персонала, контактир. с ИИР + интактные лимфоциты	$2,88 \pm 0,32$	$3,02 \pm 0,32$	$1,13 \pm 0,2$	$1,89 \pm 0,26$
Интактные лимфоциты	$0,9 \pm 0,1$	$0,9 \pm 0,1$	$0,2 \pm 0,05$	$0,7 \pm 0,09$



Добавление вДНК, выделенной из плазмы их крови в среду культивирования интактных лимфоцитов, вызвало в них увеличение частоты хромосомных aberrаций ( $p \leq 0,01$ ), что показывает, во-первых, наличие в их плазме «байстендер» факторов (факторов стресс-сигнализации), которые сохраняются в крови длительное время после облучения, так как ликвидаторы ЧАЭС подверглись воздействию радиации более 25 лет назад. Во-вторых, что одной из составляющих факторов стресс-сигнализации является вДНК.

Полученные нами результаты согласуются с литературными данными, показывающими, что у ликвидаторов аварии на ЧАЭС повреждающие факторы в крови сохраняются в крови даже спустя более 20 лет после аварии [4]. Возможной причиной этого явления является то, что, как было показано нами, облучение крови *in vitro*, способствует значительному

повышению кластогенной активности, и облученные клетки, проинкубированные в необлученной культуральной среде, продолжают выделять факторы стресс-сигнализации.

Увеличение частоты хромосомных aberrаций в интактных лимфоцитах не было связано ни с концентрацией вДНК ни с длиной выделенных фрагментов вДНК (одинаковая при выделении из облученной и не облученной крови). Но, тем не менее, они оказывали стимулирующее воздействие на интактные лимфоциты. Все эти факты свидетельствуют, что, фрагменты вДНК высвобождаемые, вероятно, из апоптотически гибнущих радиочувствительных клеток, претерпевают определенную модификацию по сравнению с фрагментами ДНК гибнущих необлученных клеток, что позволяет им быть факторами стресс-сигнализации и индуцировать в интактных клетках хромосомные aberrации.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Костюк С.В. Внеклеточная ДНК влияет на функциональную активность клеток эндотелия / С.В. Костюк, А.Ю. Алексеева, М.С. Конькова [ и др.]. // Медицинская генетика. – 2010. – №1. – С. 38–46.
2. Конькова М.С. Внеклеточная ДНК фактор сигнализации при радиационном эффекте свидетеля: автореф. канд.биол.наук / Конькова М.С. – М., 2011. – 21 с.
3. Чередниченко О.Г. Индукция белков в плазме крови человека при формировании адаптивного ответа / О.Г. Чередниченко // Известия НАН РК. Серия биологическая. – 2006. – № 4.
4. Морозник П.М. Генетические эффекты «Байстендер» факторов из сыворотки крови людей, облученных в результате аварии на ЧАЭС / П.М. Морозник, И.Б. Моссе, С.Б. Мельнов // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2011. – Т. 51, № 1. – С. 76–80.

### **РАДИАЦИЯНЫҢ ӘСЕРІНЕ ҰШЫРАҒАН АДАМДАРДЫҢ ҚАН ПЛАЗМАСЫНАН БӨЛІНГЕН СТРЕСС-ДАБЫЛ ФАКТОРЛАРЫНЫҢ ГЕНЕТИКАЛЫҚ ӘСЕРЛЕРІ**

**О.Г. Чередниченко, Е.Г. Губицкая, А.Л. Пилюгина**

*ҚР БҒМ Жалпы генетика және цитология институты, Алматы қ., Қазақстан Республикасы*

Мақалада, ЧАЭС апатының зардабын жоюшылардың және кәсіби радиациялық әсерге ұшырағандардың, адамдардың қанындағы, қандағы *in vitro* сәулеленген плазмадан бөлінген стресс-дабыл факторларының генетикалық әсерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Стресс-дабыл факторлары жасушалар арасындағы тура байланыс кезінде берілмейтіні, және оның плазмаға немесе өсірілетін ортаға бөлінетіні көрсетілген. Осымен қатар, сәулеленген қаннан бөлінген жасушадан тыс ДНК бөлшектерінің куәгер әсері ретінде шарттаушы фактор болып табылады. Бұл, сәулеленген *in vitro* қанның плазмасының үлгісінен бөлінген жасудан тыс ДНК бүлінбеген лимфоциттердің өсірілетін ортасына енгізу жолымен көрсетілген. Сонымен бірге, лимфоцит-куәгерлерде сәулеленген жасушаларда байқалған реакциялардың дамуы, басқаша айтқанда хромосомалық aberrациялардың жиілігінің ұлғаюы байқалды. Одан басқа, ЧАЭС апатының зардабын жоюшылардың немесе кәсіби қызметі барысында *in vivo* сәулеленген адамдардың қанындағы плазмадан бөлінген бүлінбеген лимфоциттерге жасушадан тыс ДНК енгізу, сонымен қатар олардағы хромосомалық aberrациялардың жиілігін ұлғайтады, бұл олардың плазмасында сәулеленуден кейін қанда ұзақ уақыт бойы сақталатын «байстендер» факторларының (стресс-дабыл факторлары) орын алуын куәдар етеді.

**GENETIC EFFECTS OF STRESS FACTORS SIGNALING, ISOLATED FROM BLOOD PLASMA  
OF PEOPLE EXPOSED TO RADIATION EXPOSURE**

**O.G. Cherednichenko, E.G. Gubitskaya, A.L. Pilyugina**

*Institute of General Genetics and Cytology of MES RK, Almaty, Kazakhstan*

The paper provides the results of study of the genetic effects of factors of stress signalization isolated from plasma of in vitro irradiated blood and blood of people occupationally exposed to radiation and the liquidators of the Chernobyl NPP. It is shown that the stress-signaling factors are not transmitted by direct contact between the cells, and they are introduced by them in the plasma or the culture medium. At the same time the extracellular DNA fragments extracted from irradiated blood may act as factors determining the abscopal effect. This is demonstrated by administration to the culture medium of intact lymphocytes of extracellular DNA isolated from plasma samples of the blood irradiated in vitro. In this case, in bystander lymphocytes development of the same reaction as in irradiated cells, i.e. increased frequency of chromosomal aberrations was observed. Moreover, the addition of extracellular DNA extracted from the blood plasma of people irradiated in vivo by virtue of their professional activities or Chernobyl liquidators to intact lymphocytes also increases their frequency of chromosomal aberrations in them, indicating the presence of “bystander” factors (stress-signaling) that persist in the blood for a long time after exposure in their plasma.

УДК 577.4:614.876:504.53:539.16

**РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ с. САРЖАЛ  
И ПРИЛЕГАЮЩИХ К НЕМУ ТЕРРИТОРИЙ**

Лукашенко С.Н., Паницкий А.В., Стрильчук Ю.Г., Шатров А.Н., Яковенко Ю.Ю.

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

В работе представлены результаты радиоэкологического обследования территорий района с. Саржал. Главным источником радиоактивного загрязнения района, прилегающего к с. Саржал, является след радиоактивных выпадений 1953 г. В ходе проведения работ были определены интегральные радионуклидные параметры, а также содержание техногенных и естественных радионуклидов в почве. На основе полученных данных построены карты распределения интегральных параметров и удельных активностей гамма-излучающих радионуклидов. Установлено, что значения МЭД и содержание естественных радионуклидов в почве в целом соответствует среднемировому уровню. Проведена статистическая обработка результатов спектрометрического анализа проб грунта. Проведен анализ изотопных отношений  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  и  $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ . На исследуемой территории наблюдаются два значения изотопного отношения  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  равные 2,2 и 4, что говорит о формировании радиоактивного загрязнения от двух источников. Для изотопного отношения  $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$  отмечена высокая вариативность, при медианном значении равном восьми. Проведены измерения удельной активности радионуклидов в основных продуктах сельского хозяйства.

*Ключевые слова:* испытание 1953 г, след радиоактивных выпадений, с. Саржал, содержание радионуклидов в почве.

**ВВЕДЕНИЕ**

Основным источником радиоактивного загрязнения юго-восточной части Семипалатинского испытательного полигона является испытание первого термоядерного заряда в 1953 г. Мощность термоядерного заряда составила порядка 400 кт. После взрыва формирование следа радиоактивных выпадений происходило в юго-восточном направлении от «Опытного поля». Длина полосы радиоактивного загрязнения с суммарной дозой более одного рентгена по результатам воздушной радиационной разведки составляла примерно 400 км от границы полигона. Ширина полосы достигала 40 км на границе запретной зоны и 55–60 км на расстоянии 140–150 км. Об уровнях радиоактивных выпадений дают представления значения мощностей доз гамма-излучения на открытой местности, измеренные в районе с. Саржал на 16-ый день после испытания. Мощность дозы гамма-излучения на тот момент времени составила 0,15–0,37 мЗв/ч [1].

Практически вся юго-восточная часть полигона по своим природным особенностям (почвенно-растительная характеристика, рельеф) представляет собой пастбищные угодья. Как следствие основным видом сельскохозяйственной деятельности является животноводство (овцеводство, скотоводство и коневодство). Содержание скота ведется стойлово-пастбищным методом. Система пастбы скота вольная или бессистемная. Пастбища данной территории используются круглогодично. Основным видом производимой продукции является баранина, говядина, конина, молоко КРС, кумыс.

Первые целевые обследования территорий, прилегающих к Семипалатинскому полигону, в том числе район села Саржал, были проведены в 1990–

1993 гг. как наземными, так и авиационными техническими методами [2]. По результатам авиа гамма-съемки плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  на восточном крае следа радиоактивных выпадений от термоядерного испытания 1953 г. (где располагается село Саржал) оценивалась порядка 11 ГБк/км<sup>2</sup>. При этом средний уровень глобальных выпадений около 1,8 ГБк/км<sup>2</sup>. Также проводился отбор проб грунта как внутри поселка, так и за его пределами. Сообщается, что средняя плотность загрязнения по осколочным радионуклидам ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) в два раза выше уровня глобальных выпадений, и в десять раз выше по  $^{239+240}\text{Pu}$ . Авторы работ отмечают значительную неравномерность величины поверхностного загрязнения (50–80 %). Однако даже максимальные значения плотности загрязнения не превышают критических уровней, а средние значения далеки от них.

Также был проведен мониторинг объектов водопользования с. Саржал (скважины, колодцы). Полученные результаты свидетельствуют, что  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  на несколько порядков ниже даже современных допустимых норм. Результаты мониторинга воздуха в с. Саржал выявили содержание плутония с активностью в диапазоне от  $3 \cdot 10^{-5}$  до  $1,7 \cdot 10^{-6}$  Бк/м<sup>3</sup>, что на несколько порядков меньше допустимых норм.

Более масштабные работы были проведены в 2000–2002 гг. в рамках программы НАТО «Наука ради мира» [3]. Участники проекта условно разбили исследуемые территории на шесть секторов. Выбранные секторы включали в себя испытательные площадки «Телькем-1» и «Телькем-2», след радиоактивных выпадения от испытания 1953 г., территории, потенциально подверженные влиянию выноса радионуклидов водотоками со склонов гор массива Дегелен, и само с. Саржал.

В рамках данной работы были сделаны замеры мощности дозы гамма-излучения и плотности потока альфа-частиц. Гамма-спектрометрический анализ отобранных проб грунта не выявил численных значений  $^{241}\text{Am}$  за исключением проб, отобранных с площадок Телькем-1 и Телькем-2. Предел обнаружения по  $^{241}\text{Am}$  достаточно высокий и составил 3 Бк/кг. Был проведен анализ естественных и техногенных радионуклидов. Максимумы концентраций техногенных радионуклидов приходится на места проведения испытаний Телькем-1 и Телькем-2. За исключением площадок Телькем содержание  $^{239+240}\text{Pu}$  по всей исследуемой территории находится примерно на одном уровне. Полная информация по данной работе представлена в [3].

Проведенные ранее исследования носили скорее скрининговый характер, целью которых было получение общей картины радиоактивного загрязнения данной территории СИП. Это выражается и в числе отобранных образцов грунта, и в аппаратурно-методическом обеспечении. Более детальные исследования были проведены в период 2011–2014 гг. Институтом радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК (ИРБЭ). В рамках работ были сделаны подробные исследования юго-восточной части полигона.

В данной работе будут представлены результаты радиоэкологического обследования территорий района с. Саржал, которые являются логическим продолжением работ, проделанных ИРБЭ в период 2011–2014 гг. В том числе радиометрические исследования, уровни содержания естественных и техногенных радионуклидов в почве, изотопные отношения, а также содержание техногенных радионуклидов в местной сельскохозяйственной продукции.

#### РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕРРИТОРИЙ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К с. САРЖАЛ

##### Оценка интегральных радиационных параметров

Всего в ходе обследования территорий было сделано 1200 измерений МЭД и плотности потока частиц. Нижняя граница измерения мощности эквивалентной дозы составила 0,1 мкЗв/час, нижняя граница измерения плотности потока бета-частиц составила 10 част/(мин $\times$ см $^2$ ). Диапазон изменений значений МЭД лежат в диапазоне: от < 0,1 мкЗв/час до 0,24 мкЗв/час. Диапазон изменений значений потока бета-частиц составляет от < 10 част/(мин $\times$ см $^2$ ) до 24 част/(мин $\times$ см $^2$ ). Следует отметить, что из всего числа проделанных радиометрических измерений (1200) количество измерений полученных в виде предела обнаружения составило 8 % – для МЭД, и 33 % для плотности потока бета-частиц. Т.е. большая часть результатов измерений представлена в виде численных значений. На рисунке 1 представлены карты распределения МЭД и плотности потока бета-частиц по исследуемой территории.

Согласно литературным данным вариативность мощности эквивалентной дозы, обусловленной естественным радиационным фоном, по данным различных стран составляет 0,01÷0,2 мкЗв/час [4]. В данный интервал попадают практически все наблюдаемые значения МЭД.

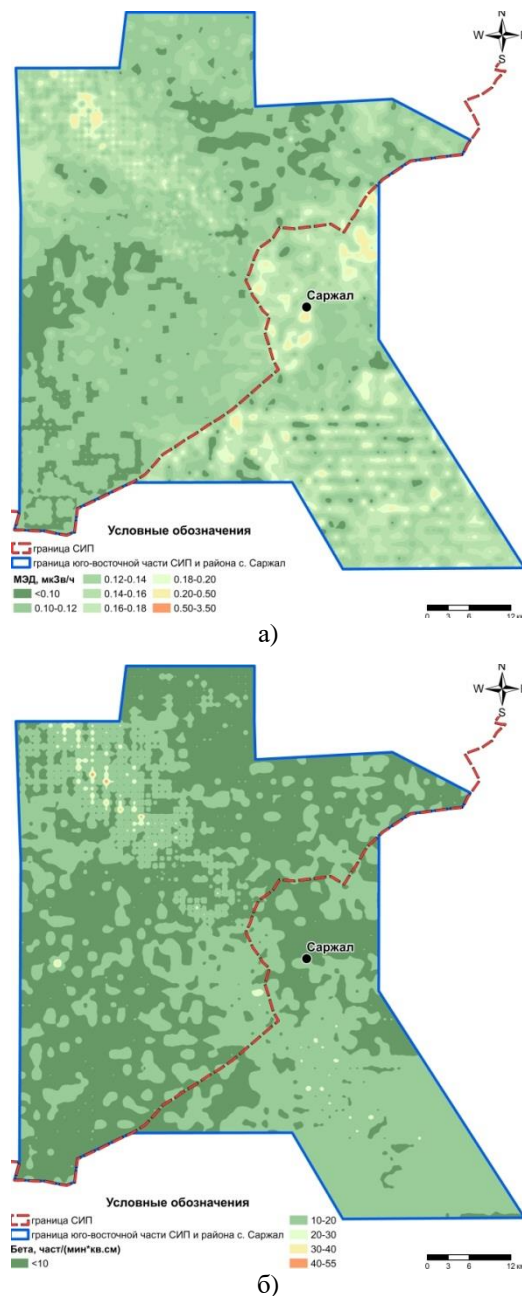


Рисунок 1. Карты распределения МЭД (а) и плотности потока бета-частиц (б) на исследуемой территории

Как показали радиометрические измерения след радиоактивных выпадений от испытания 1953 г в пределах полигона прослеживается как по мощности дозы, так и по плотности потока бета-частиц, а за его границей полигона практически не выделяется. Можно предположить, что изменение радиометрических параметров обусловлено изменением со-

держания естественных радионуклидов в почве. Однако подтверждение данного предположения возможно только после изучения радионуклидного состава отобранных проб почвы, что будет рассмотрено далее.

#### Содержание естественных радионуклидов в почве

Всего на исследуемых территориях было отобрано 1200 проб. В результате гамма-спектрометрического анализа были определены активности таких естественных радионуклидов как  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ . В таблице 1 представлены диапазоны изменения удельной активности естественных радионуклидов, рассчитанные средние значения, медиана, коэффициент вариации и показатель асимметрии.

Таблица 1. Содержание естественных радионуклидов в почвах исследуемых территорий

Радионуклид	$^{40}\text{K}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$
Диапазон изменения, Бк/кг	291 ÷ 1064	4 ÷ 62	10 ÷ 70	4 ÷ 54
Среднее значение, Бк/кг	673	29	27	26
Медиана, Бк/кг	672	28	25	26
Коэффициент вариации, %	14	26	31	22
Показатель асимметрии	0,35	1,0	1,5	0,5

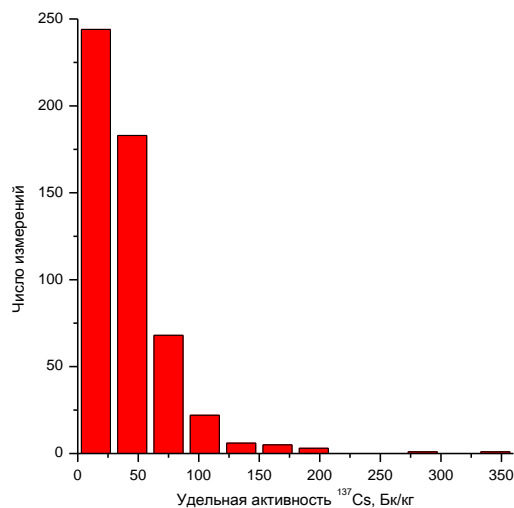
Содержание в почве таких радионуклидов как  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  находится примерно на одинаковом уровне. Величина медианы почти совпадает со средним значением, что указывает на отсутствие резко выделяющихся значений. Несмотря на достаточно широкие диапазоны изменения активностей радионуклидов, коэффициенты вариации невелики, т.е. основная часть значений лежит «кучно». Максимальная величина вариации наблюдается для  $^{238}\text{U}$ .

В работе [4] представлено содержание данных радионуклидов в различных типах почвы. Сравнивая литературные данные с фактически наблюдаемыми, можно отметить, что содержание  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  в почвах исследуемых территорий находится на уровне среднемировых значений. Содержание  $^{40}\text{K}$  почти в два раза превышает литературные значения, что может быть связано с особенностью данного региона.

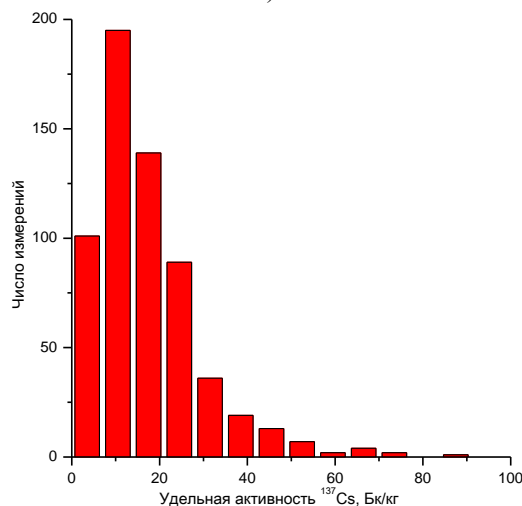
#### Содержание техногенных радионуклидов в почве

Определение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  проводилось во всех отобранных пробах почвы. Определение активности  $^{90}\text{Sr}$ , из-за трудоемкости радиохимического анализа, проводилось только в 38 образцах почвы, в восьми из которых результаты оказались ниже предела обнаружения (<8 Бк/кг). В случае  $^{137}\text{Cs}$  все результаты измерений получены в виде численных значений.

На рисунке 2 представлено распределение значений удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  по частоте встречаемости в пределах следа радиоактивных выпадений и за его границами.



а)



б)

Рисунок 2. Распределение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  по частоте встречаемости в пределах следа радиоактивных выпадений (а), и за его пределами (б)

В таблице 2 представлены характеристики полученных распределений. Ввиду небольшого объема выборки по удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  построить аналогичные распределения для данного радионуклида не представляется возможным. Поэтому характеристики распределения удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  внутри следа и за его пределами представлены только в виде табличных данных – таблица 3.

Как и следовало ожидать, в пределах границ следа радиоактивных выпадений отмечаются более высокие концентрации  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  по сравнению со значениями, полученными за его пределами. Это выражается как в диапазоне изменений, так и в среднем значении и медиане. Среднее значение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в пределах следа в 2,5 раза превышает среднее значение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  за границами следа. Аналогичная величина для  $^{90}\text{Sr}$  равна семи.

Таблица 2. Характеристики статистического распределения удельной активности <sup>137</sup>Cs в почве исследуемой территории

Радионуклид	В пределах границ следа радиоактивных выпадений	За границами следа радиоактивных выпадений
Диапазон изменения, Бк/кг	1,4 ÷ 360	0,28 ÷ 88
Среднее значение, Бк/кг	42	17
Медиана, Бк/кг	32	14
Коэффициент вариации, %	83	70
Показатель асимметрии	3	1,7

Таблица 3. Характеристики статистического распределения удельной активности <sup>90</sup>Sr в почве исследуемой территории

Радионуклид	В пределах границ следа радиоактивных выпадений	За границами следа радиоактивных выпадений
Диапазон изменения, Бк/кг	30 ÷ 1270	<8 ÷ 230
Среднее значение, Бк/кг	416	63
Медиана, Бк/кг	370	48
Коэффициент вариации, %	88	106
Показатель асимметрии	1,2	1,8

Таблица 4. Характеристики статистического распределения удельной активности <sup>241</sup>Am в почве исследуемой территории

Радионуклид	В пределах границ следа радиоактивных выпадений	За границами следа радиоактивных выпадений
Диапазон изменения, Бк/кг	<0,1 ÷ 3,9	<0,1 ÷ 2,3
Среднее значение, Бк/кг	0,8	0,8
Медиана, Бк/кг	0,7	0,7
Коэффициент вариации, %	48	37
Показатель асимметрии	3	1,3

Таблица 5. Характеристики статистического распределения удельной активности <sup>239+240</sup>Pu в почве исследуемой территории

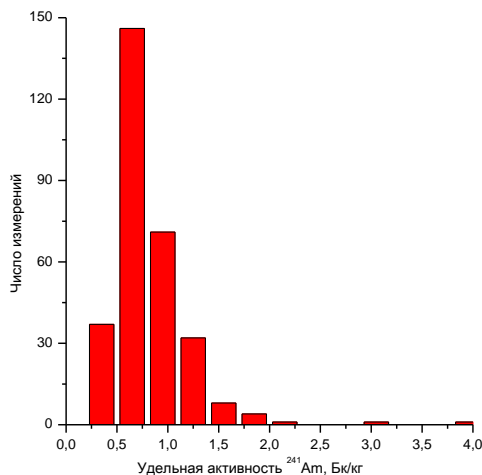
Радионуклид	В пределах границ следа радиоактивных выпадений	За границами следа радиоактивных выпадений
Диапазон изменения, Бк/кг	4 ÷ 94	1,9 ÷ 60
Среднее значение, Бк/кг	30	12
Медиана, Бк/кг	26	8
Коэффициент вариации, %	77	116
Показатель асимметрии	1,5	2,7

Во всех случаях среднее значение отличается от медианы в 1,2–1,3 раза, что указывает на отсутствие в выборках резко выделяющиеся значения. Коэффициенты вариации для <sup>137</sup>Cs внутри следа и за его пределами примерно одинаковы. Расхождение коэффициентов вариации для <sup>90</sup>Sr внутри следа и за его пределами более существенно, что возможно связано с погрешностями радиохимического определения. Все распределения имеют «хвост» в область

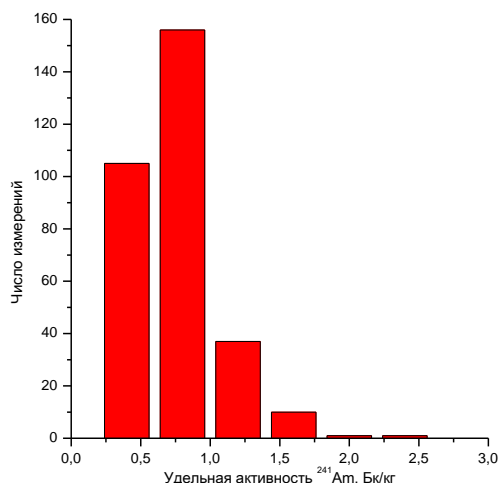
высоких значений (коэффициент асимметрии существенно больше нуля).

Аналогичные рассуждения были проведены относительно радионуклидов <sup>241</sup>Am и <sup>239+240</sup>Pu. Определение удельной активности <sup>241</sup>Am проводилось во всех пробах почвы с типичным пределом обнаружения 0,1 Бк/кг. Определение удельной активности <sup>239+240</sup>Pu было проведено лишь в 38 пробах с типичным пределом обнаружения 0,4 Бк/кг. На рисунке 3 представлены гистограммы удельной активности <sup>241</sup>Am по частоте встречаемости в пределах следа радиоактивных выпадений и за его границами.

В таблице 4 представлены результаты статистической обработки результатов определения удельной активности <sup>241</sup>Am в почве. Как и в случае <sup>90</sup>Sr в виду небольшого объема выборки распределение удельной активности <sup>239+240</sup>Pu представлено в виде таблицы 5.



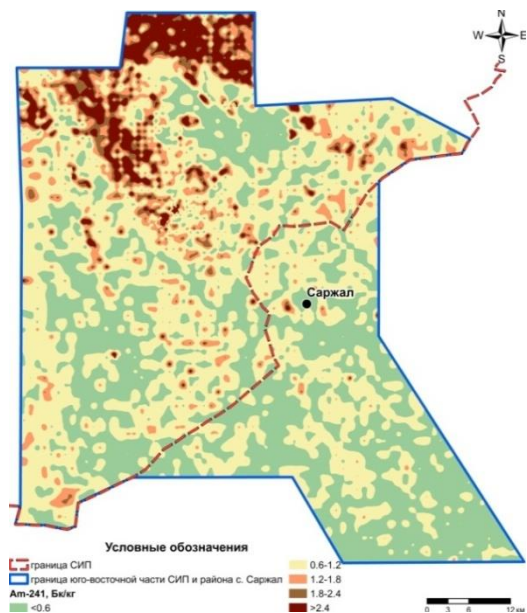
а)



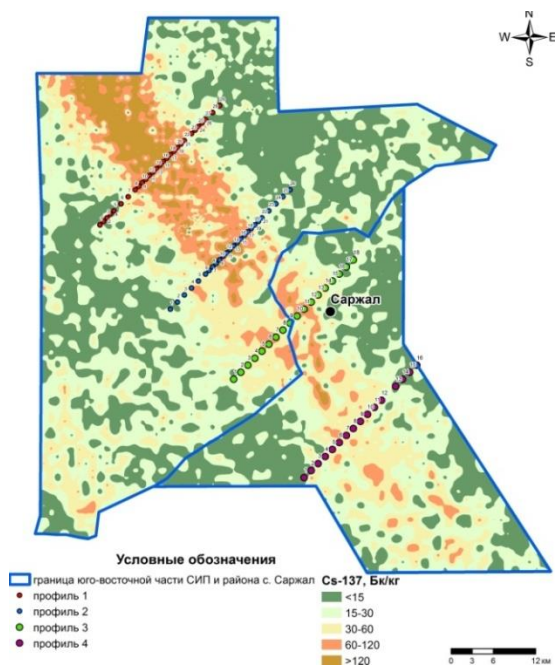
б)

Рисунок 3. Распределение удельной активности <sup>241</sup>Am по частоте встречаемости в пределах следа радиоактивных выпадений (а), и за его пределами (б)

В случае  $^{241}\text{Am}$  отсутствуют какие-либо значимые отличия между распределениями внутри следа и за его границей. Верхняя граница диапазона изменения удельной активности  $^{241}\text{Am}$  в почве в пределах следа в 1,7 раз превышает соответствующую величину за границей следа. Средние значения и медианы удельной активности  $^{241}\text{Am}$  внутри следа и за его пределами совпадают.



а)



б)

Рисунок 4. Карты распределения  $^{241}\text{Am}$  (а) и  $^{137}\text{Cs}$  (б) на исследуемой территории

Близкая картина наблюдается и в случае  $^{239+240}\text{Pu}$ . Верхняя граница диапазона изменения удельной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в почве в пределах следа в 1,5 раза превышает соответствующую величину за границей следа. Однако среднее значение и медиана удельной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в почве в пределах следа превышают аналогичные величины за пределами следа в 2,5 и 3,2 раза соответственно. Для выборки удельной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в почве за границей следа радиоактивных выпадений наблюдается существенный коэффициент вариации, что указывает на очень большой разброс значений, что также проявляется в большем отличии медианы от среднего значения по сравнению со значениями, полученными внутри следа.

На рисунке 4 представлены карты площадного распределения радионуклидов  $^{241}\text{Am}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Как было показано выше содержание  $^{241}\text{Am}$  в почве на следе радиоактивных выпадений и за его пределами практически не отличается. Карта площадного распределения  $^{241}\text{Am}$  также подтверждает данный факт. Участки с наибольшим уровнем загрязнения по  $^{241}\text{Am}$  находятся внутри полигона, и не выходят за его границу на исследуемые территории. Имеются лишь крайне незначительные по количеству участки с повышенным содержанием  $^{241}\text{Am}$ . Т.е. площадное распределение  $^{241}\text{Am}$  на исследуемой территории фактически изотропное.

Характер загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  повторяет след радиоактивных выпадений от термоядерного испытания 1953 г.

Также были проведены исследования распределения  $^{137}\text{Cs}$  вдоль профилей поперек следа радиоактивных выпадений. Положения поперечных профилей представлены на рисунке 4. Полученные распределения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  вдоль профилей представлены на рисунке 5.

Как видно из рисунка, полученные кривые описываются гауссовым распределением, что особенно четко прослеживается на профиле №1 и №2. Необходимо отметить достаточно резкий спад активности от оси следа к его краям. На профилях №1, 2 падение активности от максимальных значений (530 Бк/кг и 230 Бк/кг соответственно) до нескольких десятков единиц удельной активности наблюдается в пределах 10–15 м. Т.е. след радиоактивных выпадений достаточно узок. По мере приближения к границам полигона и за его пределами распределение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  становится более широким, максимум значений уменьшается.

Огромный интерес с радиэкологической точки зрения представляют изотопные отношения  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  и  $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ . С использованием данных изотопных отношений и результатов измерения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  можно теоретически оценить активность  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$ .

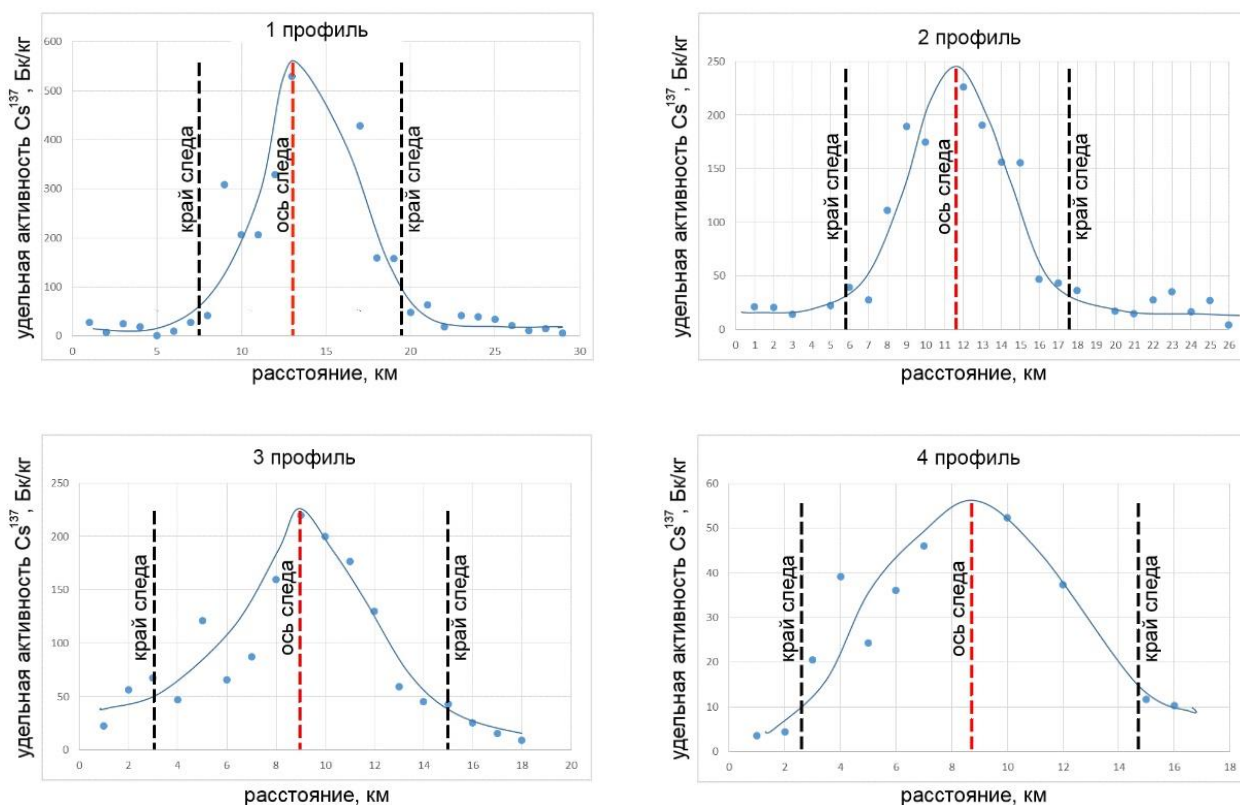


Рисунок 5. Распределение  $^{137}\text{Cs}$  вдоль поперечных профилей

Учитывая сложность радиохимического анализа  $^{90}\text{Sr}$  и сопутствующие ему погрешности, при расчете изотопного отношения  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  во внимание принимались только «надежно» определяемые значения активности  $^{90}\text{Sr}$  (превышающие МДА не менее чем в 10 раз). На рисунке 6 представлена зависимость удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  как функции от удельной активности  $^{137}\text{Cs}$ .

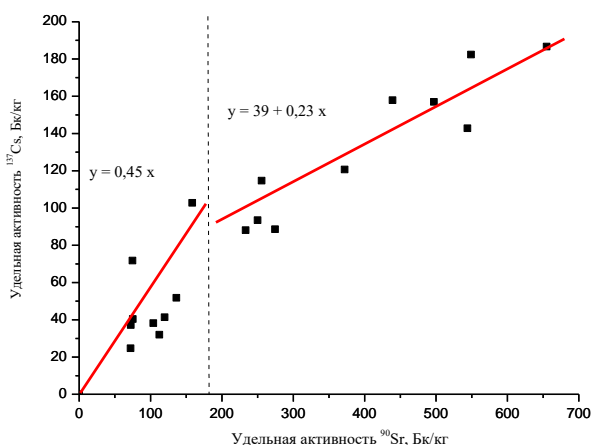


Рисунок 6. Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  как функция от удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  на исследуемых территориях

На полученной зависимости выделяются два участка. В интервале удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  (0–180)

Бк/кг зависимость аппроксимируется линейной функцией  $y = 0,45 \times x$ . В интервале (180–600) Бк/кг зависимость аппроксимируется линейной функцией  $y = 39 + 0,23 \times x$ . Таким образом, на исследуемой территории наблюдаются два значения изотопного отношения  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  равные 2,2 и 4, что говорит о формировании радиоактивного загрязнения от двух источников.

Аналогичные рассуждения были проведены относительно изотопного отношения  $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ . Однако диапазон изменения значений данного изотопного отношения очень широкий: от 2 до 60. Коэффициент вариации составляет 88 %, при таком разбросе значений наиболее корректно будет использование величины медианы, которая в свою очередь равна 8.

Таким образом, получены значения изотопных отношений, характеризующих радиационную обстановку на исследуемой территории:  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs} = 2,2$  и 4, и  $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am} = 8$ .

#### РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ с. САРЖАЛ

Карта площадного загрязнения радионуклидом  $^{137}\text{Cs}$  территории с. Саржал представлена на рисунке 7, а. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в почве колеблется от 0,8 до 75 Бк/кг. Загрязнение территории села носит неравномерный характер. Наибольшие значения удельной активности наблюдаются в юго-западной части села



как наиболее подверженной радиоактивным выпадениям от испытания 1953 г. В большинстве случаев (65 %) содержание  $^{137}\text{Cs}$  в почве находится на уровне 10–20 Бк/кг, среднее значение удельной активности равно – 17 Бк/кг. В основном содержание  $^{137}\text{Cs}$  в почве сопоставимо с глобальными выпадениями.



а)



б)

Рисунок 7. Распределение  $^{137}\text{Cs}$  (а) и  $^{241}\text{Am}$  (б) на территории села Саржал

Площадное распределение  $^{90}\text{Sr}$  в целом повторяет распределение  $^{137}\text{Cs}$ . На приусадебных участках среднее значение удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  составляет 9 Бк/кг, на остальной территории села значение удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  достигает 60 Бк/кг.

Удельная активность  $^{241}\text{Am}$  в основном не превышает 5 Бк/кг и его распределение по территории села носит более равномерный характер по сравнению с распределением  $^{137}\text{Cs}$ . Тем не менее, имеются несколько точек, где активность америция аномально высокая (вплоть до 100 Бк/кг). В пространственном отношении эти точки расположены по всей территории населенного пункта и нельзя выделить какой-то один локальный участок (или зону) и говорить о дополнительном источнике радиоактивного загрязнения, кроме имеющегося следа радиоактивных выпадений 1953 г. Вполне вероятно, что эта активность обусловлена «горячими» частицами, образовавшимися в момент этого же термоядерного испытания 1953 г. В общем случае, среднее значение удельной активности  $^{241}\text{Am}$  составляет 2,0 Бк/кг. Среднее значение удельной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в почве села Саржал составляет порядка 20 Бк/кг.

Средние концентрации естественных и техногенных радионуклидов в воздухе представлены в таблице 6. Там же, для сравнения представлены допустимые значения активности для населения. Как видно наблюдаемые значения объемной активности естественных и техногенных радионуклидов в воздухе существенно ниже допустимых норм.

Ввиду того, что основным видом деятельности жителей с. Саржал является сельское хозяйство, огромный интерес представляет содержание техногенных радионуклидов в продуктах питания. В таблице 7 представлены удельные активности техногенных радионуклидов в наиболее популярных с/х культурах данного региона.

Содержание исследованных искусственных радионуклидов в растениях, очень низкое. Для большинства растительных и почвенных проб получены значения ниже предела обнаружения измерительной аппаратуры, что связано с низкими концентрациями радионуклидов в почве. Аналогично были проведены исследования по определению активности техногенных радионуклидов в продуктах животноводства: кумыс, коровье молоко, мясо. Практически все результаты проведенных измерений получены в виде пределов обнаружения, которые составили для  $^{241}\text{Am}$  – 0,01 Бк/кг,  $^{137}\text{Cs}$  – 0,03 Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  – 0,2 Бк/кг и  $^{239+240}\text{Pu}$  – 0,05 Бк/кг.

Таблица 6. Содержание естественных и техногенных радионуклидов в приповерхностном воздухе

Место отбора	Объемная активность радионуклидов, Бк/м <sup>3</sup>							
	$^{40}\text{K}$	$^{232}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{238}\text{U}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{241}\text{Am}$	$^{239+240}\text{Pu}$
Саржал	$8 \cdot 10^{-4} \pm 8 \cdot 10^{-5}$	$<3 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5} \pm 3 \cdot 10^{-6}$	$<1 \cdot 10^{-5}$	$<80$	$<4$	$<4$	$1,3 \pm 0,4$
ДООА для населения, мкБк/м <sup>3</sup>	$3,8 \cdot 10^3$	0,19	3,1	2,9	$2,7 \cdot 10^7$	$2,7 \cdot 10^6$	2900	2500

Таблица 7. Содержание радионуклидов в растительной продукции села Саржал

Растения	УА, Бк/кг (сухой вес)			
	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>239+240</sup> Pu	<sup>241</sup> Am
картофель (клубни)	<0,6	<3,1	<0,3	<0,6
томат (плод)	<1	5,9±1,1	<0,46	<1,3
перец (плод)	<3	<10	<0,74	<1,8
огурец (плод)	<1,7	<0,9	<0,7	<1
тыква (плод)	<0,3	<0,8	<0,13	<0,2
баклажан плоды	—	<31	—	—
лук (головки)	<1,2	15±4	—	<0,8
кабачки (плоды)	—	—	—	—
капуста (плоды)	—	—	—	—

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Характер радиоактивного загрязнения с. Саржал в целом повторяет характер радиоактивного загрязнения на следе испытания 1953 г. Поскольку след

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Ядерные испытания СССР / Под ред. В. М. Тагирова. - Саров. 1992. - Т. 1. - С. 221–222.
2. Дубасов, Ю. В. Радиационная обстановка вокруг Семипалатинского полигона и прилегающих поселков / Ю. В. Дубасов, С. А. Пахомов, Б.О. Шагин / Вестник НЯЦ РК. – 2003. – №3. – С. 23–28.
3. Изучение радиоэкологической ситуации в районе п. Саржал на Семипалатинском полигоне: заключительный отчет по проекту NATOSfP-976046(99) / Н. Прист, М. Буркитбаев, О. И. Артемьев, С. Н. Лукашенко, П. Митчелл. – 2003.
4. Сахаров, В. К. Радиоэкология: учеб. пособие / В. К. Сахаров. – СПб: Лань, 2006. – С. 132.

### САРЖАЛ АУЫЛЫНЫҢ ЖӘНЕ ОҒАН ЖАҚЫН ЖАТҚАН АУЫЛДЫҢ РАДИОЭКОЛОГИЯЛЫҚ АХУАЛЫ

С.Н. Лукашенко, А.В. Паницкий, Ю.Г. Стрельчук, А.Н. Шатров, Ю.Ю. Яковенко

*ҚР ҰАО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатова, Қазақстан*

Бұл жұмыста, Саржал ауылы аумағына радиоэкологиялық зерттеу жұмыстарын жүргізу нәтижелері келтірілді. Саржал ауылына жақын жатқан ауданның радиоактивті ластануының басты көзі 1953 жылғы радиоактивті түсулердің іздері болып табылады. Жұмыстар жүргізу барысында интегралды радионуклидтік параметрлер, сонымен қатар топырақтағы техногенді және табиғи радионуклидтердің құрамы анықталды. Алынған деректердің негізінде интегралды таралудың картасы құрылды және гамма-сәуле шығарушы радионуклидтердің тиесілі белсенділігі анықталды. Топырақтағы табиғи радионуклидтердің құрамы мен ЭДҚ мәні жалпы алғандағы орташаәлемдік деңгейге сәйкес екені анықталды. Топырақтың сынамаларына спектрометриялық талдама жасау нәтижелерін статистикалық өңдеу жұмыстары жүргізілді. <sup>90</sup>Sr/<sup>137</sup>Cs және <sup>239+240</sup>Pu/<sup>241</sup>Am изотоптық арақатынасының талдамасы жасалды. Зерттеліп жатқан аумақта <sup>90</sup>Sr/<sup>137</sup>Cs изотоптық арақатынасының екі мәні байқалды олар 2,2 және 4-ке тең, бұл радиоактивті ластанудың екі көзден қалыптасқанын көрсетеді. <sup>239+240</sup>Pu/<sup>241</sup>Am изотоптық қатынасы үшін өте жоғары вариативтілік байқалды, оның медианалық мәні сегізге тең. Ауыл шаруашылығының негізгі өнімдеріндегі радионуклидтердің тиесілі белсенділігін өлшеу жұмыстары жүргізілді.

*Кілт сөздер:* 1953 ж. сынақ, радиоактивті түсулердің іздері, Саржал ауылы, топырақтағы радионуклидтердің құрамы.

радиоактивных выпадений задел лишь часть села, содержание техногенных радионуклидов внутри поселка заметно ниже, чем за его границей. Это в первую очередь касается таких радионуклидов как <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr. В случае <sup>241</sup>Am внутри поселка имеются точки, в которых удельное содержание данного радионуклида существенно выше, чем на прилегающих к селу территориях. Однако эти точки немногочисленны и разрознены по всему селу.

Исследование местных продуктов питания и воды не выявило значительного содержания техногенных радионуклидов. Наблюдаемые численные значения существенно ниже допустимых величин.

Таким образом, можно резюмировать, что сложившаяся радиоэкологическая обстановка внутри с. Саржал и прилегающих к нему территорий с точки зрения внутреннего поступления техногенных радионуклидов безопасна.

**RADIOECOLOGICAL CONDITION OF SARZHAL VILLAGE AND TERRITORIES ADJACENT TO IT**

**S.N. Lukashenko, A.V. Panitsky, Yu.G. Strilchuk, A.N. Shatrov, Yu.Yu. Yakovenko**

*Branch "Institute of Radiation Safety and Ecology" RSE "NNC RK", Kurchatov, Kazakhstan*

The paper provides results of radioecological survey of Sarzhal settlement and adjacent area. The main source of radioactive contamination of the adjacent area is the radioactive fallout plume of the 1953. In course of works integral radionuclide parameters, as well as concentrations of artificial and natural radionuclides in soil were studied. Based on the results obtained distribution maps were built for integral parameters and specific activities of gamma-emitting radionuclides were built. It was found that EDR values and concentrations of natural radionuclides in soil corresponds to the worldwide average level in general. Statistical processing of soil samples spectrometric analysis results was performed.  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  and  $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$  isotopic ratio values were analyzed. At the researched territory two values of  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  isotopic ratio equal to 2,2 and 4 were found. This fact shows that radioactive contamination was formed by two sources.  $^{239+240}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$  isotopic ratio values vary widely, with the median equal to 8. Specific activity of radionuclides was measured in the basic agricultural products.

*Key words:* the 1953 test, radioactive fallout plume, Sarzhal village, radionuclide concentration in soil.

УДК 504.4.054:577.4: 546.11.02.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПОСТУПЛЕНИЯ ТРИТИЯ ИЗ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ

Турченко Д.В., Лукашенко С.Н., Ляхова О.Н., Айдарханова А.К.

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

В статье представлены результаты экспериментального исследования поступления трития с поверхности льда в снежный покров при стабильных отрицательных температурах. Исследована динамика накопления трития в нижних слоях снежного покрова. Определено, что максимальные концентрации трития в снежном покрове не превышают 1/10 от удельной активности трития в ледяном покрове. Установлено, что содержание минеральных солей в ледяном покрове влияет на поступление трития в снежный покров. Поступление трития в снежный покров из соленого раствора на 60 % больше, чем из пресного раствора.

*Ключевые слова:* тритий, снежный покров, поверхностный слой снежного покрова, приземный слой снежного покрова.

### ВВЕДЕНИЕ

За последние 5 лет на территории испытательных площадок СИП проведено комплексное обследование основных компонентов экосистемы, которые располагаются или прилегают к участкам с высокими концентрациями трития в русловой воде. Уровни содержания трития в объектах окружающей среды, на загрязненных участках ручьев площадки «Дегелен» и реке Шаган площадки «Балапан», варьируют от десятков до сотен тысяч Бк/кг [1, 2]. Анализ результатов проведенных исследований показал, что все компоненты окружающей среды (вода, растения, почва, воздух, снежный покров, ледяной покров), расположенные на загрязненных участках могут накапливать тритий.

Исследования содержания трития в снежном покрове на испытательных площадках СИП [3, 4] выявили наличие высоких концентраций трития в снеге, сравнимых с концентрацией трития в русловой воде. Максимальные концентрации трития в снежном покрове сопряжены с зонами наличия ледяного покрова в подстилающей поверхности, достигающие 40 кБк/кг. При этом на расстоянии 200–300 м в сторону от основного русла, концентрация трития в снеге находится на фоновом уровне – 12 Бк/кг.

Изучение динамики концентрации трития в снежном покрове показало неравномерное распределение трития в снежном покрове с течением времени. Основными механизмами поступления трития в снежный покров являются эманация из почвы (ледяного покрова) и атмосферный ветровой перенос снега, загрязненного тритием [4]. На ручьях площадки «Дегелен» тритий поступает в снег из почвы или ледяного покрова (эманация из почвы), а на реке Шаган – действуют оба механизма поступления, эманация из почвы и атмосферный перенос. Такое неравномерное распределение трития в слоях снежного покрова, вероятно, связано с климатическими условиями местности (стабильность низких температур атмосферного воздуха, интенсивность солнечной радиации, период выпадения осадков снега) и химиче-

ским составом подстилающей поверхности почвы или ледяного покрова.

Целью работы являлось изучение факторов, влияющих на поступление трития из ледяного в снежный покров и оценка динамики перераспределения трития в слоях снежного покрова с течением времени.

### 1. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование механизмов поступления трития из ледяного в снежный покров проводилось на протяжении зимнего периода в закрытом неотапливаемом помещении, что позволило исключить влияние резких скачков изменения температуры и солнечной радиации за весь исследовательский период (с декабря по март). Кроме этого, предполагалось, что при переходе трития из льда в снежный покров содержание соли в замороженной воде может влиять на миграционные способности трития. Поэтому при проведении эксперимента использовалась вода с различным содержанием минеральных солей: вода из ручьев площадки «Дегелен» – 0,34 г/л и вода с реки Шаган – 11 г/л.

В лабораторных условиях были подготовлены 20 экспериментальных емкостей. Каждая из 10 емкостей была заполнена 200 мл воды с площадки «Дегелен» активностью 45 кБк/кг и 10 емкостей заполнены 200 мл воды с реки Шаган, активностью 280 кБк/кг. Все 20 емкостей с водой были заморожены до ледяного состояния при отрицательной температуре (–15 °С). С целью соблюдения чистоты эксперимента, в каждую емкость помещен мерный цилиндр меньшего размера длиной 18 см, на цилиндр нанесена градация с шагом 3 см. Внутренняя полость цилиндра была заполнена снежным покровом, при этом нижний слой (0–3 см) снега располагался на ледяной поверхности. После этого, 20 образцов были помещены на хранение при стабильной отрицательной температуре атмосферного воздуха (от –20 до –8 °С). Благодаря этому, на протяжении всего исследования (78 суток), общая толщина снежно-

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПОСТУПЛЕНИЯ ТРИТИЯ  
ИЗ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ**

го покрова в экспериментальных образцах сохранялась на уровне 18 см.

С периодичностью 1 раз в 10–12 дней извлекалось по 2 экспериментальных образца с различным содержанием соли и активностью трития. Из образца извлекался мерный цилиндр со снежным покровом, цилиндр делился на равные слои (0–3, 3–6, 6–9, 9–12, 12–15 и 15–18 см), толщина каждого слоя составляла 3 см. Полученные слои снега размораживались до жидкого состояния и анализировались на содержание трития.

Для определения удельной активности трития в пробах снега использовался жидкосцинтилляционный спектрометр TriCarb 2900 TR по стандартной методике [5].

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице 1 и 2 представлены результаты исследования динамики изменения концентрации трития в снежном покрове с различным содержанием минеральных солей и удельной активности трития в ледяном покрове.

Результаты проведенных работ показали, что при стабильных отрицательных температурах, уже после первых 10 дней выдержки снежного покрова на ледяной поверхности, концентрация трития в нижнем (0–3 см) слое снежного покрова составляет 1/100 от активности трития в воде (лед). Максимальная концентрация трития в нижнем слое снежного покрова отмечена в 5 декаду выдержки (период максимального насыщения тритием), которая составляет 1/10 от активности трития во льду. Дальнейшего насыщения тритием нижнего слоя снежного покрова не наблюдалось.

*Таблица 1. Динамика концентрации трития в снежном покрове с поверхности льда (вода с площадки «Дегелен»)*

Глубина отбора, см	Удельная активность трития, Бк/кг.							
	0	11 день	21 день	34 день	53 день	61 день	75 день	78 день
0–3	<12	300±30	700±70	1500±100	1000±100	1200±100	1100±100	1500±100
3–6	<12	<12	450±40	100±12	200±20	250±20	330±30	1500±100
6–9	<12	<11	<12	30±7	45±7	65±7	100±12	230±20
9–12	<12	<11	<12	30±7	<12	20±7	<12	50±12
12–15	<12	<11	<12	<11	<12	40±7	<12	<11
15–18	<12	<12	<12	<12	<12	50±7	<11	<12

*Таблица 2. Динамика концентрации трития в снежном покрове с поверхности льда (вода с реки Шаган площадки «Балапан»)*

Глубина отбора, см	Удельная активность трития, Бк/кг							
	0	11 день	21 день	34 день	53 день	61 день	75 день	78 день
0–3	<12	2500±200	4500±400	5000±50	23000±2000	7000±700	22000±2000	12000±1000
3–6	<12	60±7	20±7	200±20	5400±500	1400±100	6500±600	3400±300
6–9	<12	<11	<12	<12	30±7	270±30	1200±100	600±60
9–12	<12	<12	<12	<12	1000±100	35±7	270±30	130±12
12–15	<12	<12	<12	<12	220±20	30±7	800±80	30±12
15–18	<12	<12	нет данных	нет данных	55±7	55±17	85±12	45±12

Примечательно, что на протяжении всего периода проведения эксперимента, во всех образцах содержащих пресный лед (вода с площадки «Дегелен»), верхние слои снега 9–12, 12–15, 15–18 см не загрязнились тритием. Данный факт подтверждает ранее проведенные на ручьях площадки «Дегелен» исследования по изучению механизмов поступления трития в снежный покров.

Стоит отметить, что на 53 сутки после начала проведения эксперимента, температура атмосферного воздуха в помещении хранения образцов достигла максимального значения –8 °С. Вероятно, в дальнейшем этот факт и повлиял на насыщение тритием всех слоев снежного покрова, в особенности для образцов содержащих соленой раствор льда (вода с реки Шаган).

Таким образом, в результате исследования выявлены факторы, влияющие на поступление трития в верхние слои снежного покрова. При температуре воздуха в помещении для хранения образцов –8 °С, концентрация трития в нижних слоях (0–3, 3–6 см) снежного покрова всех исследуемых образцов значительно увеличивается. При этом наличие соли в ледяном покрове способствует поступлению трития в промежуточные (6–9, 9–12 см) и верхние слои (12–15, 15–18 см) снежного покрова (таблица 2).

## 3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

На рисунке 1 представлена динамика концентрации трития в нижнем (приземном) слое снежного покрова с течением времени. В расчетах использовались данные содержания трития в нижнем (0–3 см) слое снежного покрова на протяжении всего исследовательского периода.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПОСТУПЛЕНИЯ ТРИТИЯ ИЗ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ

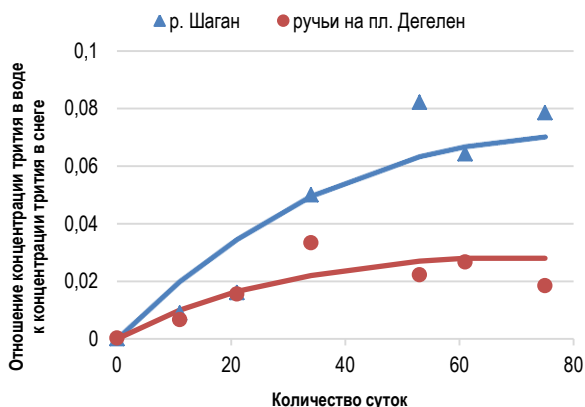


Рисунок 1. Динамика изменения концентрации трития в нижнем слое снега с течением времени

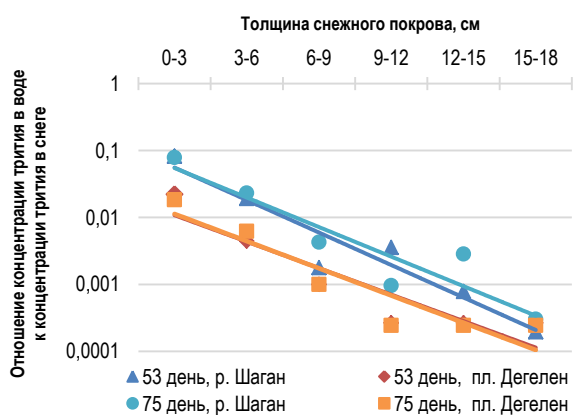


Рисунок 2. Характер распределения трития в слоях снежного покрова с различным содержанием минеральных солей в ледяном покрове

На протяжении всего исследовательского периода (78 дней) поступление трития с поверхности льда в снежный покров не превышает 10 % от удельной активности трития в ледяном покрове. Также можно заметить, что поступление трития из льда в снег отличается друг от друга – вероятно, это связано с

различным содержанием минеральных солей, находящихся в ледяном покрове.

На рисунке 2 представлен характер распределения трития в слоях снежного покрова с различным содержанием минеральных солей в ледяном покрове, для различных сроков выдержки.

Для выявления особенностей поступления трития из ледяного покрова в снежный покров с различным содержанием соли, проведены теоретические расчеты отношения концентрации трития в ледяном покрове от концентрации трития в снежном покрове. Результаты теоретических расчетов и экспериментальных исследований показали, что содержание минеральных солей в ледяном покрове влияет на концентрацию трития в снежном покрове и эта разница составляет 60 %. Эти результаты также подтверждаются расчетами парциального давления насыщенного пара раствора и растворителя согласно первому Закону Рауля [6].

Давление насыщенного пара в соляном растворе (вода с реки Шаган) больше, чем давление насыщенного пара в пресной воде (вода с пл. Дегелен), следовательно, удельная активность трития при переходе из соляного раствора в снежный покров будет выше, чем в пресном растворе.

В результате проведенных исследований установлено, что максимальная концентрация трития в нижнем слое снежного покрова не превышает 1/10 от удельной активности трития в ледяной поверхности. Степень минерализации ледяного покрова и температура атмосферного воздуха существенно влияют на поступление трития в верхние слои снежного покрова.

Авторы статьи выражают благодарность сотрудникам филиала «Институт радиационной безопасности и экологии» НЯЦ РК: Дашук А.Л., Шакинову Ф.С. за помощь при постановке эксперимента, и группе общей химии ОРСМОС за пробоподготовку образцов снега.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ларионова, Н. В. Разработка и применение метода оценки загрязнения тритием грунтовых вод по его содержанию в растительном покрове / С. Н. Лукашенко, О. Н. Ляхова, С. Б. Субботин, А. О. Айдарханов // Актуальные вопросы радиозащиты Казахстана [Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007–2009 г.г.] / под рук. Лукашенко С. Н. – Павлодар: Дом печати, 2010. – Вып. 2. – 321 с.
2. Айдарханов, А. О. Состояние экосистемы р. Шаган и основные механизмы его формирования / С. Н. Лукашенко, С. Б. Субботин, В. И. Эдомин, С. В. Генова, А. В. Топорова, Н. В. Ларионова, Е. Ю. Пестов // Актуальные вопросы радиозащиты Казахстана [Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007 – 2009 г.г.] / под рук. Лукашенко С. Н. – Павлодар: Дом печати, 2010. – Вып. 2. – С. 28–30.
3. Турченко, Д. В. Изучение содержания трития в снежном покрове горного массива Дегелен / С. Н. Лукашенко, А. О. Айдарханов, О. Н. Ляхова // Актуальные вопросы радиозащиты 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. - ISBN577-601-7112-53-0.
4. Турченко, Д. В. Изучение содержания трития в снежном покрове на реке Шаган / С. Н. Лукашенко, А. О. Айдарханов, О. Н. Ляхова // Актуальные вопросы радиозащиты Казахстана [Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2011 г.] / под рук. Лукашенко С. Н. – Т. 2. – Вып. 4. – Павлодар: Дом печати, 2012.
5. 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.
6. Интернет ссылка: [https://en.wikipedia.org/wiki/Raoult%27s\\_law](https://en.wikipedia.org/wiki/Raoult%27s_law)

## ҚАР ЖАМЫЛҒЫСЫНА МҰЗ ЖАМЫЛҒЫСЫНАН ТРИТИЙДІҢ ТҮСУ МЕХАНИЗМІН ЗЕРТТЕУ

Д.В. Турченко, С.Н. Лукашенко, О.Н. Ляхова, А.К. Айдарханова

*ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан*

Мақалада, тұрақты түрдегі суық температура барысында қар жамылғысына мұздың беткі қабатынан тритийдің түсуін тәжірибелік түрде зерттеу нәтижелері келтірілген. Қар жамылғысының төменгі қабатында тритийдің жинақталу қарқыны зерттелді. Қар жамылғысындағы тритийдің максималды түрде шоғырлануы мұз жамылғысындағы тритийдің тиесілі белсенділігінен 1/10 аспайтыны анықталды. Мұз жамылғысындағы минералды тұздардың құрамы қар жамылғысына тритийдің түсуіне әсер ететіні анықталды. Тұзды ерітіндіден қар жамылғысына тритийдің түсуі, тұщы ерітіндіге карағанда 60 % жоғары.

*Кілт сөздер:* тритий, қар жамылғысы, қар жамылғысының беткі қабаты, қар жамылғысының жербеткі қабаты.

## MECHANISMS OF TRITIUM INTAKE FROM ICE INTO SNOW COVER

D.V. Turchenko, S.N. Lukashenko, O.N. Lyakhova, A.K. Aidarkhanova

*Branch «Institute of Radiation Safety and Ecology» of RSE «NNC RK», Kurchatov, Kazakhstan*

The paper provides results of experimental study of tritium intake from the ice surface into snow cover at stable subzero temperatures. The dynamics of tritium accumulation in the bottom layers of snow cover was studied. It was determined that the maximum tritium concentrations in snow cover do not exceed 1/10 of tritium specific activity in ice cover. It was found that the content of mineral salts in ice cover affects tritium intake into snow cover. The rate of tritium intake into snow cover from the salted solution is 60 % more intensive than that from nonsaline solution.

*Key words:* tritium, snow cover, top layer of snow cover, bottom layer of snow cover.

УДК 551.49:614.876:553:539.16

**РАЗРАБОТКА ПРОГНОЗНОЙ МОДЕЛИ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ С ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ НА ПРИМЕРЕ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАРАЖЫРА»**<sup>1)</sup> Зеленский К.Л., <sup>1)</sup> Субботин С.Б., <sup>1)</sup> Романенко В.В., <sup>1)</sup> Мельничук М.А., <sup>2)</sup> Тюрин В.М., <sup>3)</sup> Корнеева С.В.<sup>1)</sup> Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан<sup>2)</sup> АО «Каражыра», Семей, Казахстан<sup>3)</sup> ТОО «Павлодаргидрогеология», Павлодар, Казахстан

В статье представлен обзор результатов исследований по состоянию подземных вод в зоне влияния Каражырского тектонического разлома участка угольного месторождения «Каражыра» на территории площадки «Балапан» бывшего Семипалатинского испытательного ядерного полигона (СИП). Разрабатываемое месторождение находится в непосредственной близости от мест проведения подземных ядерных испытаний. Миграция техногенных радионуклидов в подземных водах месторождения может усилиться по мере разработки месторождения [1].

Построена прогнозная модель миграции радионуклида трития при помощи математических моделей. Определено следующее: основным источником загрязнения тритием подземных вод в районе скважины 559, являются запасы данных радионуклидов, сосредоточенные в горных породах, вмещающих гипоцентральную зону подземного ядерного взрыва (ПЯВ), проведенного в «боевой» скважине 1071. Представлены результаты моделирования движения потока, загрязненных тритием подземных вод от «боевой» скважины 1071 к границам действующего карьера. Совмещение карт по водопроницаемости и движении загрязненного потока показывает проследивание частиц в пределах различных зон в анизотропной среде.

**ВВЕДЕНИЕ**

Основным проблемным вопросом радиационной безопасности работ по разработке месторождения «Каражыра» является вероятность возможного поступления к границам месторождения подземных вод, загрязненных радиоактивными продуктами подземных ядерных взрывов. Основной предпосылкой такой возможности является процесс разрастания депрессионной воронки. Под влиянием карьерного водоотлива наблюдается процесс образования воронки осушения. В сферу влияния воронки попадут площади, на которых располагаются «боевые» скважины, где проведены ПЯВ.

Для дальнейшей безопасной разработки месторождения необходим прогноз радионуклидного загрязнения подземных вод, но он не возможен без математического моделирования миграции радионуклидов подземных вод. Ранее в ряде проектов Институтом геофизических исследований уже проводились работы по моделированию путей миграции радионуклидов от мест проведения подземных ядерных испытаний на площадке «Балапан». В рамках настоящей работы были собраны архивные материалы и современные данные по всем имеющимся скважинам. Создана база данных по скважинам для гидрогеологического моделирования. По этим данным построены специальные карты для схематизации гидрогеологических условий. Анализ данных показал, что для ряда характеристик, необходимых для математического моделирования (коэффициенты фильтрации, мощность водоносного потока, коэффициенты водоотдачи горизонтов), требуются дополнительные работы, а по ряду участков – проверка некоторых фильтрационных показателей [2].

Также ранее был проведен анализ структуры подземного стока площадки «Балапан» на основе цифровой модели уровенной поверхности подземных вод. Для прогнозирования миграции радионуклидов в районе месторождения «Каражыра» был проведен расчет водопритоков методом «большого колодца». Моделирование водопритоков выполнялось с помощью MODFLOW/MODPATH. По результатам моделирования подземных вод, в карьер поступают воды до линии подземного водораздела, которые не попадают в зону с повышенным содержанием трития. Пруд-испаритель дренажных вод являлся одним из факторов, препятствующих поступлению радиоактивных продуктов с подземными водами к границам месторождения [3].

Кроме того, было проведено математическое моделирование, в рамках проекта МНТЦ, миграции <sup>90</sup>Sr с трещинными подземными водами на площадке «Балапан» с помощью программы MODFLOW. Результаты расчетов дают общее представление об изменении распределения концентраций радионуклида с течением времени. Полученные результаты являлись оценочными, требующими уточнения и корректировки [4].

Целью данной работы является разработка прогнозная модели радионуклидного загрязнения подземных вод, распространенных в районе угольного месторождения «Каражыра», в программе ANSDIMAT. Для построения математической модели объекта осуществляется расчет зон миграционно-го движения потока [5].



## 1. ОБЩИЕ ДАННЫЕ ПО МЕСТОРОЖДЕНИЮ

### 1.1. Географическое местоположение

Месторождение угля «Каражыра» расположено на территории административного подчинения маслихата г. Семей Восточно-Казахстанской области, в 130 км к юго-западу от г. Семей и 75 км от р. Иртыш. Месторождение расположено на землях бывшего Семипалатинского испытательного полигона, площадь его составляет 21,6 км<sup>2</sup>.

Месторождение обрабатывается открытым способом. Разведочно-эксплуатационный карьер функционирует с 1992 г. (рисунок 1).

Осушение карьера осуществляется посредством водоотлива карьерных вод в законсервированный карьер (пруд-испаритель), расположенный в 1 км юго-восточнее РЭР-2. Близость накопителя дренажных стоков обуславливает частичный возврат вод из накопителя в действующий углеразрез и одновременно создает купол растекания, который препятствует быстрому перемещению депрессионной воронки в сторону «боевых» скважин, в которых производились испытания.

### 1.2. Геологическое строение и гидрогеологические условия

На рассматриваемой прилегающей территории влияние Калба-Чингизского разлома выразилось развитием сложной системы сопряжённых северо-западных разломов, из которых наиболее крупными являются Кишкенский, Каражирский, Каражирский и Чинрауский [6–8]. Зоны расланцевания, брекчирования, милонитизации вдоль этих разломов имеют мощность в десятки метров и падают под углами 70–80° на юго-запад – для Каражирского, Каражирского разломов и на северо-восток – для Кишкенского разлома.

Вдоль Каражирского разлома по оперяющим пологим разрывам образования палеозоя надвинуты на угленосные отложения юры, углы поверхностей надвигов в пределах 20–80°. Зона Чинрауского разлома падает на северо-восток под углами 50–80°. Амплитуды перемещений по данным разломам предполагаются в порядке 100–500 м. Разломы других направлений проявлены слабее и фиксируются небольшими фрагментами зон дробления, линейно вытянутыми телами интрузивных пород, флексурными подворотами складчатых структур.

В связи с пологим залеганием угленосной толщи, выходы угольных пластов под перекрывающими рыхлыми наносами в северо-западной части месторождения тянутся почти на 4 км. На юго-востоке месторождения, где залегание пород более крутое, протяженность выходов угольных пластов под покровными наносами составляет 750 м, складчатость развита слабо. Подвороты угленосной толщи отмечаются лишь вблизи зон тектонических нарушений. Разрывов, осложняющих угленосную толщу в ее центральной части, нет (рисунок 2).

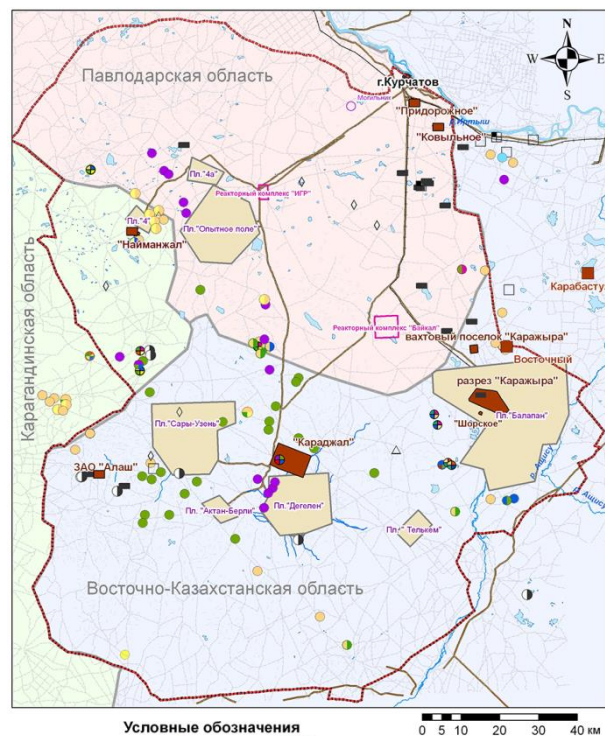


Рисунок 1. Месторождение «Каражыра» на СИП

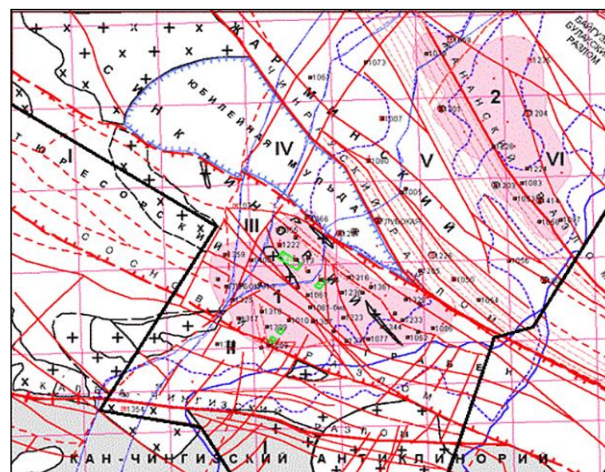


Рисунок 2. Тектоническая схема площадки «Балапан»

На северо-востоке грабен ограничен взбросом 1 (Чинрауский разлом). На юго-западе грабен ограничен взбросом 2 (Каражырский разлом) вдоль которого по оперяющим разрывам образования покровно-надвиговые структуры. Здесь образования палеозоя надвинуты на угленосные отложения юры, углы наклона поверхностей надвигов колеблются в пределах 20–50°. Геологическое строение района и месторождения не благоприятны для формирования значительных ресурсов и запасов.

**РАЗРАБОТКА ПРОГНОЗНОЙ МОДЕЛИ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ С ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ  
НА ПРИМЕРЕ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАРАЖЫРА»**

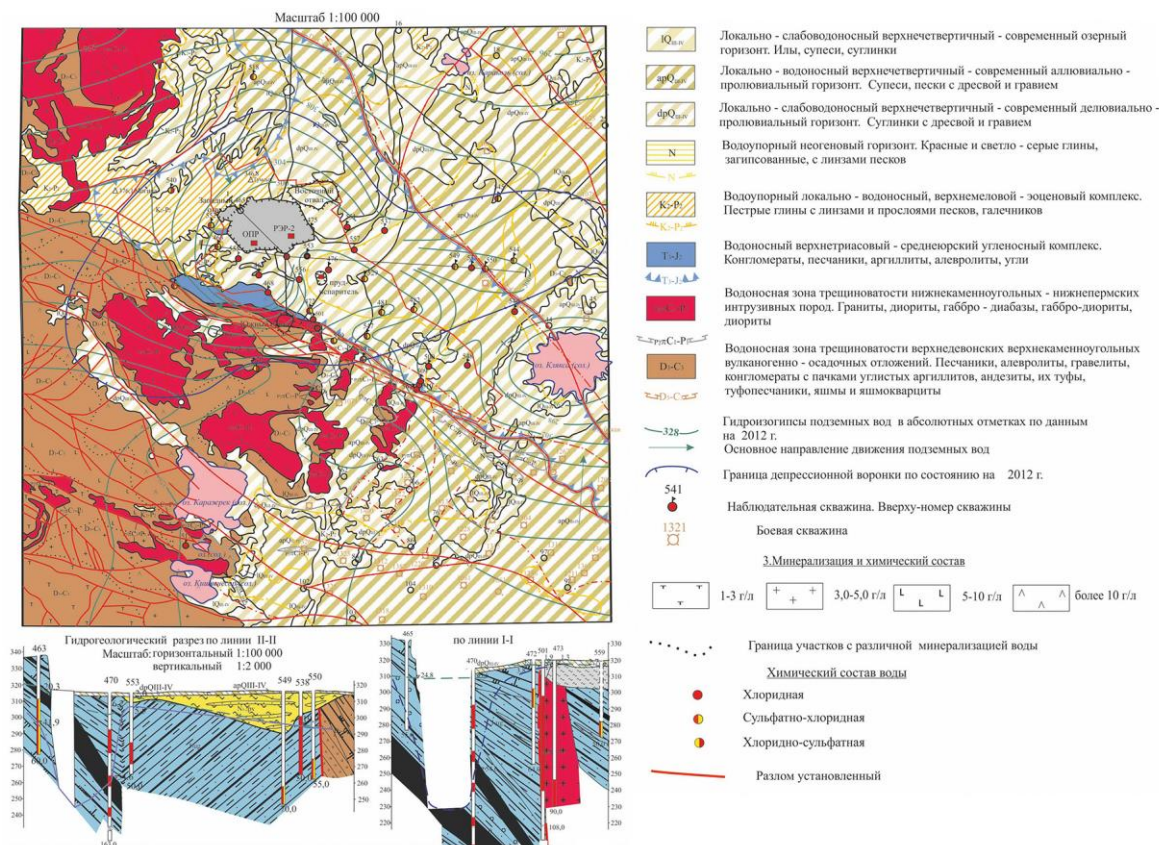


Рисунок 3. Гидрогеологическая карта района месторождения

В гидрогеологическом отношении Каражырский грабен представляет собой небольшой субартезианский бассейн, где основные запасы подземных вод приурочены к отложениям нижней юры. Вышележащие мел-палеогеновые и неогеновые образования рассматриваются как водоупор (в силу преимущественно глинистого состава), затрудняющий проникновение подземных и поверхностных вод в нижележащие горизонты (рисунок 3).

Основной водоносный горизонт в пределах месторождения «Каражыра» представлен нижнеюрским водоносным комплексом. С этим водоносным комплексом связаны основные объемы водопритоков в карьер для добычи угля. В плане нижнеюрский водоносный комплекс на площади месторождения имеет повсеместное распространение. Северная и южная граница его проходит по зонам региональных разломов, а западная и восточная границы устанавливаются далеко за пределами месторождения.

Нижнеюрский водоносный комплекс объединяет породы трех свит: надугленосный (J1пиг), угленосный (J1иг) и подугленосный (J1риг), общей мощностью в восточной части грабена до 700 м. Угленосная свита представлена песчаниками, алевролитами, аргиллитами, пластами угля и редкими прослоями гравелитов и конгломератов. В разрезе двух других свит преобладают конгломераты, гравелиты и песчаники. На площади западной половины месторожде-

ния надугленосные отложения отсутствуют.

Мощность триас-юрского водоносного комплекса изменяется от 21 до 146,3 м, преобладают мощности от 25 до 50 м. В основной своей массе воды безнапорные, и только в древних ложбинах, где триас-юрские отложения перекрыты неогеновыми глинами значительной мощности, подземные воды имеют напор до 2–8 м. Пьезометрические уровни устанавливаются на глубинах от 1,8 до 29,9 м.

За период отработки карьера на месторождении было пробурено более 40 наблюдательных скважин. По данным расходомерии, количество водоприточных зон изменяется от 2 до 13. Верхняя граница водоприточных зон установлена в пределах от 5,0 до 55,0 м от поверхности земли, нижняя – от 21,0 до 157 м.

Общее движение подземных вод направлено с юго-запада и запада на север и северо-запад, в сторону долины р. Иртыш. Часть водных потоков разгружается в естественные озерные котловины Каражрек и Клякса.

## 2. АППАРАТУРНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 2.1. Буровые работы

Бурение скважин проводилось буровой установкой ЛБУ 50-07 ударно-вращательным способом с использованием пневмоударного молотка в качестве породоразрушающего инструмента.

Литологический состав горных пород определялся в процессе бурения путем визуального описания вскрытых скважиной пород. Отбор проб воды производился непосредственно из забоя скважин по окончании буровых работ. В случае вскрытия нескольких водоносных горизонтов отбор воды производился со всех горизонтов сразу после обнаружения. Объем каждой отбираемой пробы составлял порядка 12 л: для радиохимического анализа 10 л, для общего химического анализа 1,5 л, для бета-спектрометрического и изотопного анализа по 0,02 л.

Для определения гидрогеологических параметров скважин (дебита, коэффициента фильтрации), были проведены опытно-фильтрационные работы. Для этого в каждой скважине проводилась пробная откачка, в течение 24 часов, с помощью погружного центробежного насоса марки Grundfos.

## 2.2. Лабораторные анализы по определению состава и концентрации радионуклидов в пробах подземных вод

Для проведения лабораторных исследований использовалось следующее оборудование:

- стандартное химическое оборудование для проведения общих химических работ и пробоподготовки: печи, мельницы, сушильные шкафы, центрифуги, весы;
- гамма-спектрометр BE 3830 R;
- жидкостно-сцинтилляционный бета-спектрометр TRI-CARB 2900 TR;
- альфа-спектрометр с полупроводниковым детектором (ППД) Alpha-Analyst;
- изотопный анализатор LGR 912-0008.

## 2.3. Разработка прогнозной модели миграции радионуклидов к действующему карьеру «Каражыра»

В рамках настоящей работы моделирование осуществлялось в программе ANSDIMAT – программный комплекс для аналитической и численной обработки опытно-фильтрационных опробований, разработанный Институтом геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (Санкт-Петербургское отделение ИГЭ РАН).

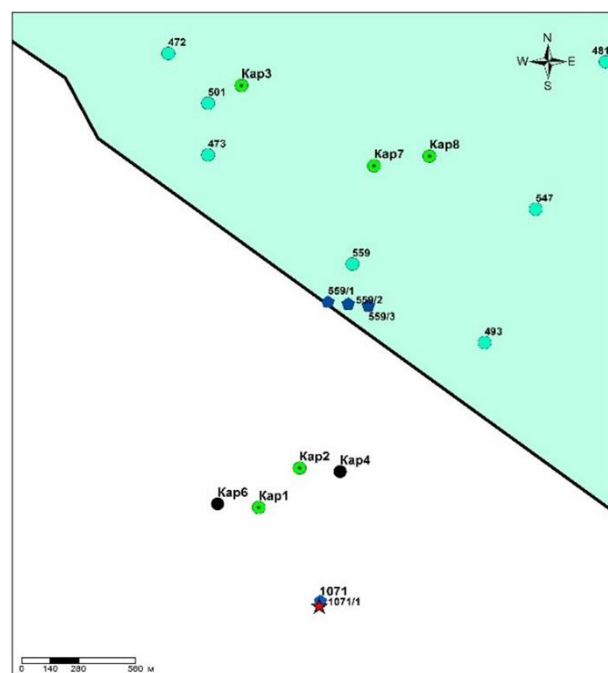
В программный комплекс ANSDIMAT интегрирована программа для аналитического моделирования скважинных систем AMWELLS, предназначенная для гидрогеологов, занимающихся оценкой эксплуатационных запасов подземных вод, проектированием крупных и мелких водозаборов в различных гидрогеологических условиях, оценкой влияния действующих водозаборов на окружающую среду [9, 10].

## 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1. Буровые работы

Перспективные для бурения исследовательских скважин участки были выбраны на основе результатов исследований содержания трития в растениях-индикаторах. Всего в рамках работ было пробурено 7 скважин на трех участках (рисунок 4).

Первый участок расположен в 600-х метрах северо-западнее «боевой» скважины 1071 по ориентировочному направлению к гидрогеологической скважине 559. На данном участке пробурено 2 наблюдательные скважины Кар1, Кар2; также на отдалении от упомянутых скважин в 200-х метрах, пробурено 2 картировочные скважины Кар4 и Кар6. Основной задачей на данном участке являлось определение площадных границ и расхода загрязненного потока подземных вод, движущегося от «боевой» скважины 1071 в сторону месторождения «Каражыра».



#### Условные обозначения

- Скважины Каражыра
- Картировочные скважины 2016 г
- Пробуренные скважины в 2015 году
- Пробуренные скважины в 2016 году
- ★ Боевая скважина
- границы земельного отвода «Каражыра»

Рисунок 4. Схема расположения пробуренных скважин

### 3.2. Оценка состояния подземных вод

Оценка характера радиоактивного загрязнения подземных вод в районе «боевой» скважины 1071 и гидрогеологической скважины 559 проведена по результатам анализа данных лабораторных анализов проб подземных вод (см. таблицу).

По табличным данным можно отметить, что содержание  $^{137}\text{Cs}$  в подземных водах находится ниже МДА равной  $<0,03$  Бк/кг. Удельная активность  $^{239+240}\text{Pu}$ , также во всех пробах воды, находится ниже МДА ( $<0,00015$  Бк/кг).

Содержание  $^{90}\text{Sr}$  в подземных водах изменяется от 0,005 до 100 Бк/кг. Максимальные значения обнаружены в скважине Кар1, в пробе, отобранной с глубины 9,0 м. Скважина Кар1 расположена в 550 м от «боевой» скважины 1071 и 1000 м от границ горного отвода месторождения «Каражыра». Стоит отметить, что подземные воды с содержанием  $^{90}\text{Sr}$  выше 49 Бк/кг относятся к жидким радиоактивным отхо-

дам. Согласно полученным данным, содержание трития в подземных водах на участке исследования изменяется в широком диапазоне значений от <12 Бк/кг до 33000 Бк/кг.

Таблица. Результаты лабораторных анализов проб воды на радионуклиды

№ п/п	№ скв.	Интервал отбора, м	Бк/кг			
			<sup>3</sup> H	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>239+240</sup> Pu
1	Кар 1	9,0	25000	< 0,03	100 ± 20	< 0,0005
2		46,5	25000	< 0,02	53 ± 8	< 0,0005
3	Кар 2	5,0	33 000	—	—	—
4		50,0	15 000	< 0,03	6,4 ± 1,0	< 0,0005
5	Кар 3	4,0	—	< 0,03	—	—
6		7,0	—	—	0,10 ± 0,02	< 0,0005
7		28,0	< 11	< 0,03	0,005 ± 0,003	< 0,0005
8	Кар 4	4,0	30	—	—	—
9	Кар 6	5,0	< 12	—	—	—
10	Кар 7	6,0	21 000	—	—	—
11		—	< 0,03	0,07 ± 0,01	< 0,0005	< 0,0005
12	Кар 8	9,0	18 000	—	—	—
13		—	< 0,03	0,007 ± 0,003	< 0,0005	< 0,0005
14	Карьер	—	3,5 ± 0,7	—	—	—
15	Карьер	—	5,6 ± 1,0	—	—	—
16	Карьер	—	5,6 ± 1,0	—	—	—
УВ [11]			7600	11	4,9	0,55

### 3.3. Определение конфигурации движения загрязненного потока подземных вод

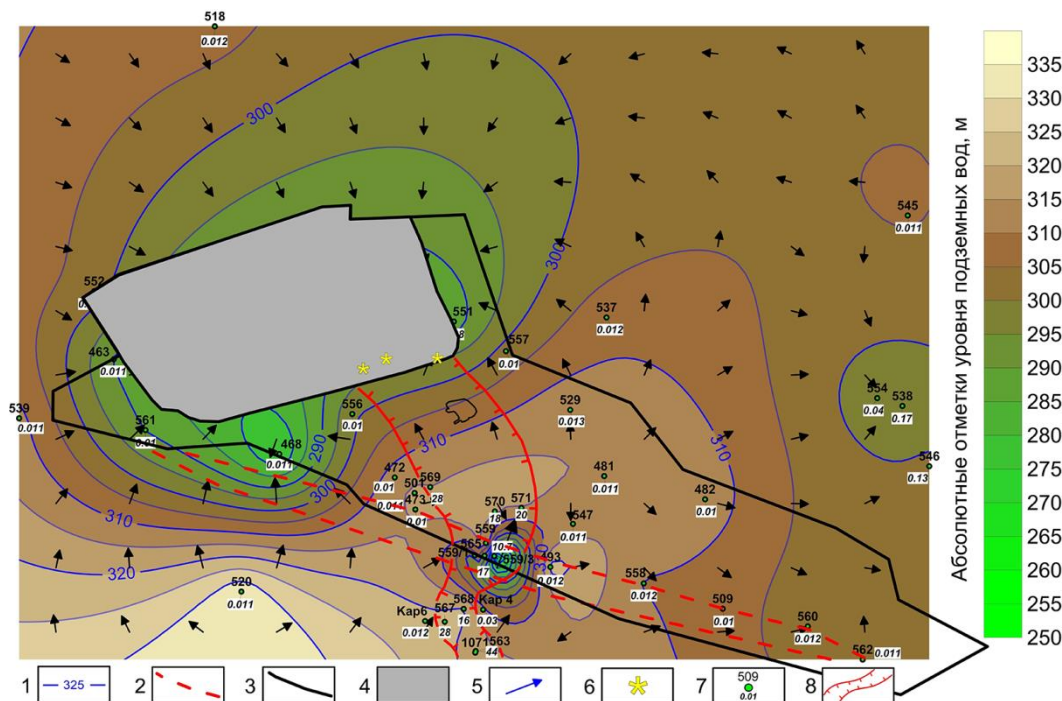
Анализ имеющихся данных по характеру миграции техногенных радионуклидов показал следующее возможное направление поступления загрязнен-

ных подземных вод из мест проведения ПЯВ (рисунок 5).

По результатам предварительных данных определены площадные контуры загрязненного потока подземных вод, двигающегося от «боевой» скважины 1071 на территорию месторождения. Значение концентрации трития в подземных водах в непосредственной близости от скважины 1071/1 составляет 44 000 Бк/кг. По мере удаления от скважины 1071, по направлению потока, концентрация трития существенно снижается. В скважинах Кар1 и Кар2, содержание трития изменяется в пределах 28 000 и 16 000 Бк/кг, соответственно. Концентрация трития в картировочных скважинах Кар4 и Кар6 не превысила нормативных значений, что говорит о том, что ширина потока загрязненных вод на данном участке составляет примерно 200 м. В скважинах Кар7 и Кар8 концентрация трития равна 18 000 и 20 000 Бк/кг, соответственно. Данный факт свидетельствует о том, что поток загрязненных вод поступает на территорию земельного отвода месторождения и, согласно данным карты гидроизогипс, перемещается в сторону разрабатываемого карьера.

### 3.4. Разработка прогнозной модели миграции

Исходные данные для создания модели используются материалы ранее выполненных геологических и гидрогеологических работ, а также мониторинга за подземными водами в процессе разработки месторождения.



1) изогипсы уровня подземных вод; 2) тектонические нарушения; 3) граница земельного отвода; 4) отработанная часть карьера в 2015 году; 5) направление движения подземных вод; 6) точки отбора проб подземных вод, разгружающихся в карьер; 7) наблюдательная скважина «Каражыра»: в числителе – номер скважины, в знаменателе – концентрация трития в Бк/кг; 8) предполагаемое направление движения загрязненного потока подземных вод

Рисунок 5. Схема расположения скважин с концентрацией трития в подземных водах

Основными расчетными гидрогеологическими параметрами при исследовании гидродинамической обстановки являются: мощность обводненной зоны трещиноватости, коэффициенты фильтрации, водопроницаемости, уронепроницаемости, водоотдачи.

Расчетные гидрогеологические параметры характеризуются следующими значениями: коэффициент водопроницаемости – от 9,0 до 60,0 м<sup>2</sup>/сут и в зонах тектонических нарушений составляет 108,0–127,0 м<sup>2</sup>/сут (скв. № 467 и № 510) до 284 м<sup>2</sup>/сут (скв. № 470). Средневзвешенные его значения по глубинам отработки составляют 35 м<sup>2</sup>/сут (до Н=50 м) и 22 м<sup>2</sup>/сут (до Н=150 м); коэффициенты уронепроницаемости изменяются в пределах от 1,2×10<sup>3</sup> м<sup>2</sup>/сут до 5,4×10<sup>3</sup> м<sup>2</sup>/сут, среднее значение – 2,8×10<sup>3</sup> м<sup>2</sup>/сут; водоотдача составляет соответственно 0,01–0,03. Коэффициент фильтрации колеблется от 0,06 до 0,068 м/сут. Для нижней зоны массива скальных углевмещающих пород и угля водоотдача принята 0,0001.

Для построения математической модели объекта осуществляется расчет зон миграционного движения потока, по ниже приведенным формулам. Для наглядности проводимых расчетов на рисунке (рисунок 6) изображена типовая схема напорного водоносного пласта [9, 10].

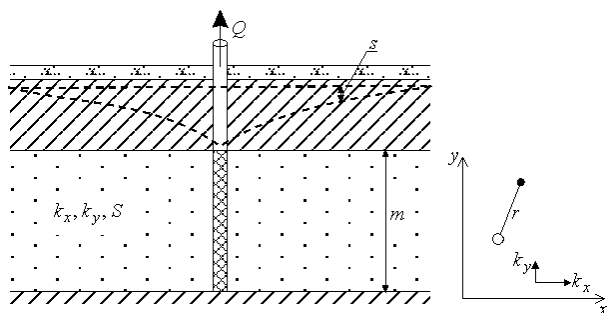


Рисунок 6. Схема напорного неограниченного в плане водоносного пласта

Уравнение нестационарной фильтрации. Решение Хантуша для плано-анизотропного пласта:

$$s = \frac{Q}{4\pi\sqrt{T_x T_y}} W \left[ \frac{r^2 (T_y \cos^2 \theta + T_x \sin^2 \theta) S}{4T_x T_y t} \right],$$

где:  $Q$  – расход опытной скважины, м<sup>3</sup>/сут;  $r$  – расстояние от опытной скважины до наблюдательной скважины, м;  $s$  – понижение в наблюдательной скважине, м;  $T_x, T_y$  – проводимость пласта в направлении оси абсцисс и ординат, м<sup>2</sup>/сут;  $t$  – время от начала откачки, сут.

Функция влияния скважины выглядит следующим образом:

$$W(u) = \int_u^\infty \frac{\exp(-\tau)}{\tau} d\tau,$$

где:  $\theta$  – угол между осью  $x$  и лучом, направленным от опытной до наблюдательной скважины, градус.

Расчет траектории движения частиц основан на полученных понижениях в опробуемом водоносном пласте, заданного градиента естественного фильтрационного потока и его направления рассчитывается поле напоров, по которому определяется траектория движения частиц (линии тока). Скорость движения частиц вычисляется по формуле:

$$v = \frac{1}{n} k \frac{H_2 - H_1}{l},$$

где:  $H_1, H_2$  – расчетный напор в точках 1 и 2, находящихся на расстоянии  $l$  друг от друга, м;  $k$  – коэффициент фильтрации водоносного пласта, м/сут;  $l$  – расстояние между двумя точками (1 и 2), в которых определяется напор, м;  $n$  – пористость;  $v$  – действительная скорость фильтрации, м/сут.

По рассчитанным линиям тока и скоростям определяется время движения частицы загрязненных вод (по принципу обратной задачи расчета зон санитарной охраны – ЗСО). Время прохождения частицы выражается следующей суммой:

$$t = \sum_{i=1}^j \Delta t_i = \sum_{i=1}^j \frac{l_i}{v_i},$$

где:  $j$  – количество интервалов, сумма которых равна длине траектории перемещения частицы за время  $t$ ;  $l_i$  – длина  $i$ -го интервала, м;  $t$  – время прохождения частицы от произвольной точки до скважины, сут;  $t_i$  – время прохождения частицы от произвольной точки до окончания  $i$ -го интервала, сут;  $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$  – время прохождения частицей одного  $i$ -го интервала, сут;  $v_i$  – действительная скорость фильтрации для  $i$ -го интервала, м/сут.

Передвижение загрязнения по принципу расчета ЗСО описывается границей, определяемой областью захвата. Рассчитывается площадь этой области, а также длина и ширина прямоугольника, который включает область захвата. Длина равна сумме максимальных расстояний от центра источника загрязнения (скважины №1071) до границы зоны вверх ( $R$ ) и вниз ( $r$ ) по потоку, а ширина ( $2d$ ) – равна максимальной ширине области захвата.

На следующем этапе выбиралась модель процесса, определялись границы моделируемой области в плане и осуществлялась их схематизация соответствующими граничными условиями, задавался размер блоков сети. За основу гидрогеологической информации в районе угольного месторождения используется схематическая карта гидроизогипс и водопроницаемости угольного месторождения (рисунок 7). В качестве границ модели в данном случае выбраны линии разломов.

## РАЗРАБОТКА ПРОГНОЗНОЙ МОДЕЛИ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ С ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ НА ПРИМЕРЕ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАРАЖЫРА»

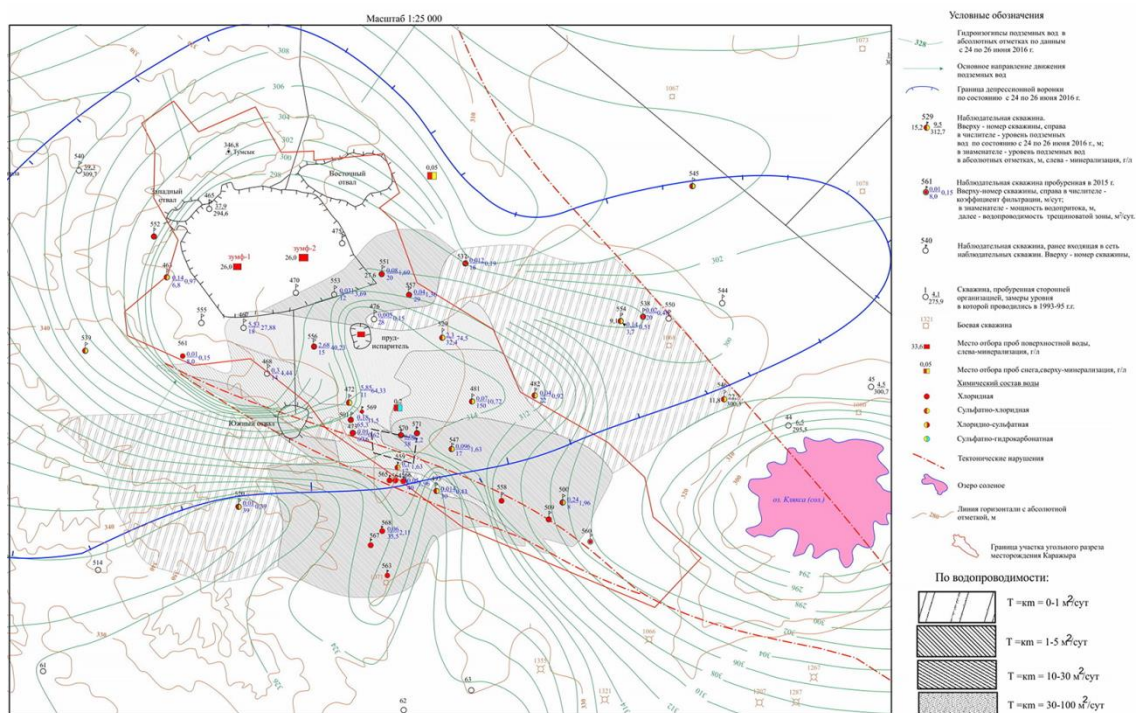
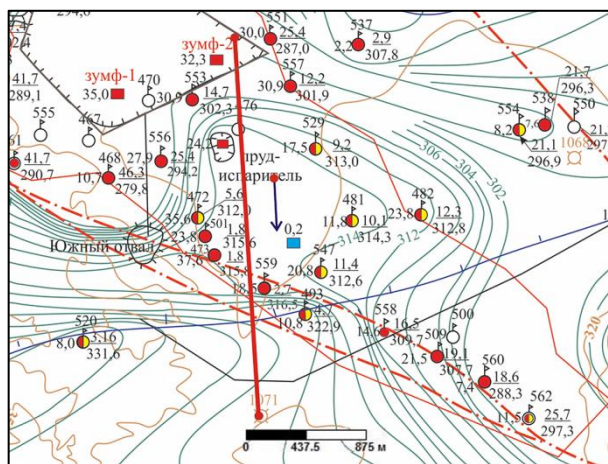
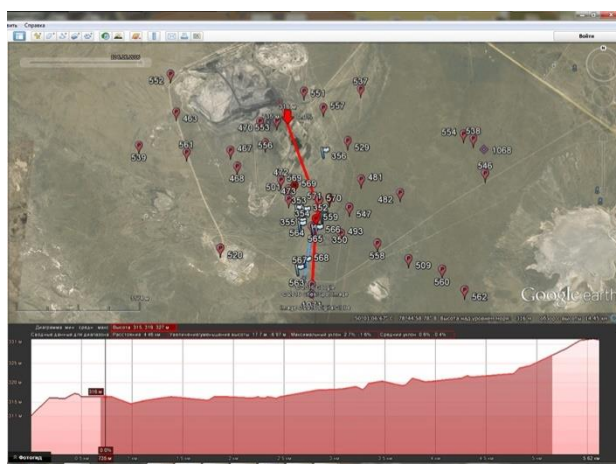


Рисунок 7. Схематическая карта гидроизогит и водопроводимости угольного месторождения «Каражыра»



а)



б)

Рисунок 8. Результат расчета программного комплекса.  
Направление загрязненного потока на 50 лет: а) в плане; б) в разрезе.

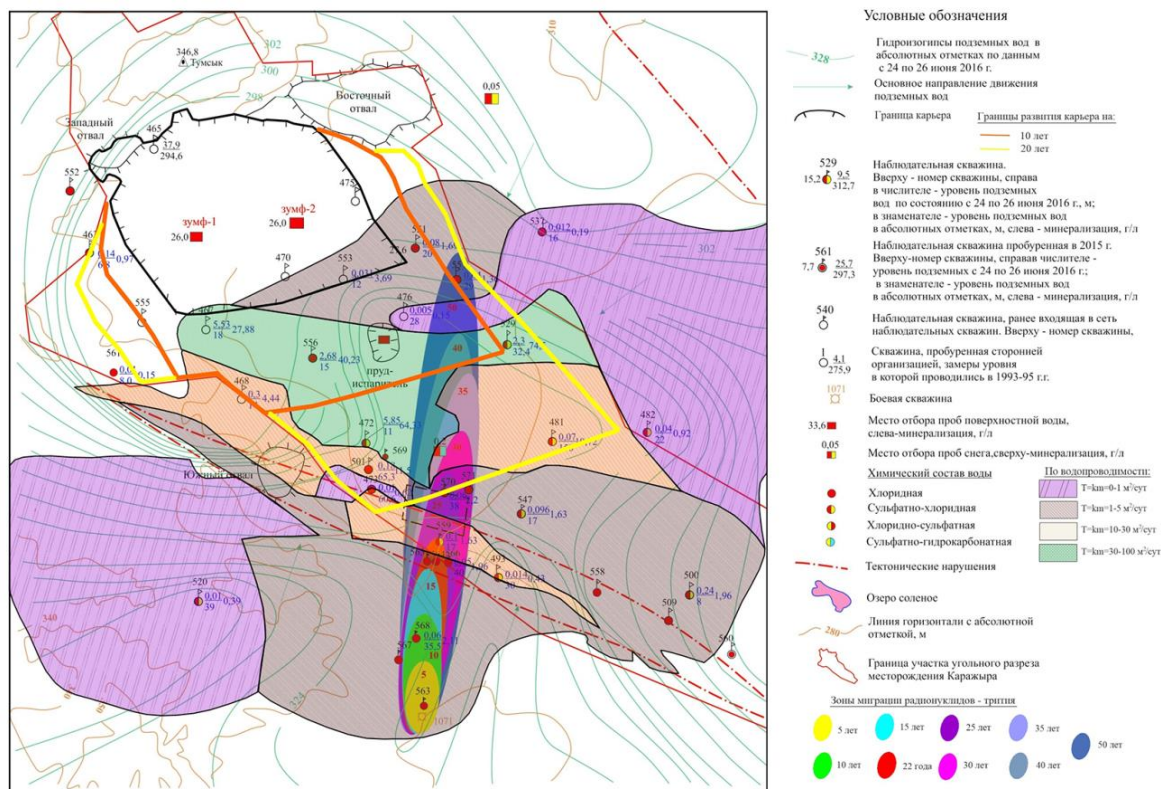
В разрезе выделено 3 слоя в соответствии с их обводненностью. Первый слой соответствует распространению суглинков и глин слабопроницаемых пород. Подошва второго слоя проведена по границе зоны развития обводненной трещиноватости. Третий слой включает, практически, не обводненные породы с низкими фильтрационными характеристиками.

На рисунке 8 представлен результат расчета программного комплекса: расчет зоны загрязненного потока подземных вод и направление загрязнения сроком на 50 лет.

На схемах (рисунок 8) представляется возможность проследить за скоростью и траекторией движения в плане и в разрезе частицы подземных вод, запущенной из любой координаты модельной области, стрелка показывает направление естественного фильтрационного потока. В данном случае приведен расчет на 50 лет от начала разработки месторождения [12–14].

На рисунке 9 представлены результаты моделирования движения потока, загрязненных тритием подземных вод от «боевой» скважины 1071 к границам действующего карьера.

**РАЗРАБОТКА ПРОГНОЗНОЙ МОДЕЛИ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ С ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ  
НА ПРИМЕРЕ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАРАЖЫРА»**



*Рисунок 9. Прогнозная модель миграции трития угольного месторождения «Каражыра»*

Данные по аналитическим моделям сопоставлены с экспериментальными данными, полученными в ходе проведения полевых и лабораторных исследований за 22 года эксплуатации углеразреза. При совмещении карт по водопроницаемости и движению загрязненного потока видно прослеживание частиц в пределах различных зон в анизотропной среде.

Необходимо учитывать ряд факторов, способствующих усилению миграции загрязненных тритием подземных вод к границам разрабатываемого карьера:

- в процессе эксплуатации месторождения разработка карьера ведется в юго-западном направлении со скоростью 100 м в год, сближаясь с встречным направлением загрязняющего потока подземных вод, т.е. к «боевой» скважине № 1071, являющейся в данный момент источником загрязнения;

- в процессе карьерного водоотлива из карьера в течение 22 лет сформировалась депрессионная воронка и установился определенный гидродинамический режим движения трещиноватых подземных вод в анизотропной среде. Этот процесс в дальнейшем существенно усилит подтягивание загрязненных тритием подземных вод в сторону карьера;

- в ходе прошедших лет движение трития проходило в среде с пониженными значениями водопроницаемости (0–1 м/сут). По прогнозам на следующие 25 лет можно отметить, что поток будет находиться в зоне с наибольшей водопроницаемостью анизотропной среды (10–100 м/сут) и если не пред-

принимать никаких мер, то продвижение может быть и значительно быстрее.

**Выводы**

Территория угольного месторождения «Каражыра» по геолого-гидрогеологическому строению представляет неоднородную анизотропную среду, представленную трещиновато-пористыми породами. Процесс моделирования для прогноза радионуклидного загрязнения проводился в несколько этапов, включающих в себя гидрогеологический и гидрогеохимический анализы, построение физико-химической и математической моделей этого объекта, тестовое апробирование модели и оценка соответствия расчетных данных реальным распределениям элементов в подземных водах, применение модели к объекту прогнозирования и выдача прогноза.

По результатам моделирования представляется возможность проследить за скоростью и траекторией движения в плане и в разрезе частицы подземных вод, запущенной из любой координаты модельной области. Приведен расчет на 50 лет от начала разработки месторождения.

Прогноз радионуклидного загрязнения подземных вод с применением математических моделей показал, что если не предпринимать никаких защитных мероприятий по блокированию процесса водной миграции техногенных радионуклидов, то к 2028 г. фронт загрязненных подземных вод достигнет бортов карьера месторождения «Каражыра».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Субботин, С. Б. Радиоэкологическая обстановка на территории угольного месторождения «Каражыра» / С. Б. Субботин, С. Н. Лукашенко, А. О. Айдарханов, В. В. Романенко // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2010 г.]. – Павлодар: Дом печати, 2011. – Т. 1. – Вып.3. – С. 289–232.
2. Изучение закономерностей и моделирование путей миграции радионуклидов и динамики радиационной обстановки на территории СИП. Изучение загрязнения бассейна подземных вод радионуклидами за 2006 год: отчет о НИР / Институт геофизических исследований (ИГИ НЯЦ РК); рук. Демин В. Н. – Курчатова: ИГИ НЯЦ РК, 2006.
3. Субботин, С. Б. Оценка влияния результатов разработки месторождения «Каражыра» на состояние подземных вод испытательной площадки «Балапан» бывшего СИП / С. Б. Субботин, Е. А. Новикова, В. В. Романенко, К. И. Кузеванов, А. А. Быкова, М. Н. Тырышкина // Вестник НЯЦ РК. – 2012. – Вып. 3. – С. 92–100.
4. Организация системы мониторинга состояния подземных вод на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона: годовые отчеты по проекту МНТЦ К-893 / Институт радиационной безопасности и экологии (ИРБЭ НЯЦ РК); рук. Лукашенко С. Н.; исполн.: Субботин С. Б., Пестов Е. Ю. – Курчатова: ИРБЭ НЯЦ РК, 2005.
5. Разработка технологии безопасной добычи полезных ископаемых в условиях радиоактивного загрязнения подземных вод, на примере угольного месторождения «Каражыра»: отчет о НИР / Институт радиационной безопасности и экологии (ИРБЭ НЯЦ РК); рук. Лукашенко С. Н. – Курчатова, 2017.
6. 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. Кузеванов // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2010 г.]. – Т. 2. – Вып. 3. – Павлодар: Дом печати, 2011. – С. 161–232.: ил. – ISBN 978-601-7112-53-0.
7. Adushkin, V. V. Changes in rock and rock mass properties in the close-in zone of large-scale underground explosion / V. V. Adushkin, A. A. Spivak // Congress on Rock Mech: 9-th Intern. – Paris, 1999. – Vol. 3. – P.1797–1808.
8. Boardmen, Ch. R. Engineering effects of underground nuclear explosions / Ch. R. Boardmen // Proc. Simp. Eng. Nucl. Explos. Las Vegas, Nev., 1970. – Springfield, 1970. – Vol. 1. – P. 43–67.
9. Синдаловский, Л. Н. Справочник аналитических решений для интерпретации опытно-фильтрационных опробований / Л. Н. Синдаловский. – СПб.: ГУ, 2006.
10. Синдаловский, Л. Н. Аналитическое моделирование опытных опробований водоносных пластов и скважинных водозаборов (программный комплекс ANSDIMAT) / Л. Н. Синдаловский. – СПб.: Наука, 2014.
11. Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности»: утв. приказом Министра национальной экономики Республики Казахстан от 27.02.2015 года № 155. – 112 с.
12. Крайнов, С. Р. Гидрохимия: учеб. для вузов / С. Р. Крайнов, В. К. Швец. – М.: Недра, 1992. – 463 с.
13. Бэр, Я. Физико-математические основы фильтрации воды / Я. Бэр, Д. Заславски, С. Ирмей. – М.: Мир, 1971. – 452 с.
14. Карпов, И. К. Физико-химическое моделирование на ЭВМ в геохимии / И. К. Карпов. – Новосибирск: Наука, 1981.

## «КАРАЖЫРА» КӨМІР КЕНОРНЫНЫҢ ҮЛГІСІНДЕ ЖЕРАСТЫ СУЛАРЫМЕН РАДИОНУКЛИДТЕРДІҢ ЖЫЛЫСТАУЫНЫҢ БОЛЖАМДЫҚ ҮЛГІСІН ӘЗІРЛЕУ

<sup>1)</sup> К.Л. Зеленский, <sup>1)</sup> С.Б. Субботин, <sup>1)</sup> В.В. Романенко, <sup>1)</sup> М.А. Мельничук, <sup>2)</sup> В.М. Тюрин, <sup>3)</sup> С.В. Корнеева

<sup>1)</sup> ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатова, Қазақстан

<sup>2)</sup> «Каражыра» АҚ, Семей, Қазақстан

<sup>3)</sup> «Павлодаргидрогеология» ЖШС, Павлодар, Қазақстан

Мақалада, бұрынғы Семей ядролық сынақ полигонының (ССП) «Балапан» алаңында орналасқан «Каражыра» көмір кенорнының Каражыралық тектоникалық омырылуы әсер ету аймағындағы жерасты суларының жағдайына қатысты зерттеу нәтижелеріне шолу жасалды. Өңделіп жатқан кенорны жерасты ядролық сынақтар өткізіліп жатқан жерлерге жақын орналасқан. Кенорны өңделе келе кенорнындағы жерасты суларында техногенді радионуклидтердің жылыстауы ұлғаюы мүмкін [1].

Математикалық үлгілердің көмегімен тритий радионуклидінің жылыстауының болжамдық үлгісі құрылды. Келесілер анықталды: №559 ұңғыманың аумағындағы жерасты сулары тритиймен ластануында №1071 «әскери» ұңғымада өткізілген жерасты ядролық жарылыстардың (ЖЯЖ) гипоцентралды аймағында орналасқан тау жыныстарында жинақталған аталған радионуклидтердің қоры негізгі ластаушы көзі болып табылады. Қолданыстағы карьердің шекараларына №1071 «әскери» ұңғымадан түсетін тритиймен ластанған жерасты сулары ағысының қозғалысын үлгілеу нәтижелері келтірілген. Ластанған ағыстың қозғалысы мен сүеткізгіштігі бойынша карталарды сәйкестендіру анизотропты ортадағы түрлі аймақтардың шегінде бөлшектердің орын алуын көрсетеді.



**DEVELOPMENT OF A PREDICTIVE MODEL FOR RADIONUCLIDE MIGRATION  
WITH GROUND WATER THE CASE OF “KARAZHYRA” COAL FIELD**

<sup>1)</sup> K.L. Zelensky, <sup>1)</sup> S.B. Subbotin, <sup>1)</sup> V.V. Romanenko, <sup>1)</sup> M.A. Melnichuk, <sup>2)</sup> V. M. Tyurin, <sup>3)</sup> S.V. Korneeva

<sup>1)</sup> Branch “Institute of Radiation Safety and Ecology” NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

<sup>2)</sup> JSC “Karazhyra”, Semey, Kazakhstan

<sup>3)</sup> LLP “Pavlodarhydrogeology”, Pavlodar, Kazakhstan

The article presents a review of research findings of ground water status in the zone of impact by Karazhyra tectonic fault in the area of “Karazhyra” coal field in the territory of “Balapan” site at the former Semipalatinsk test site (STS). The deposit being developed is in close proximity of venues of underground nuclear tests, so migration of technogenic radionuclides in ground water of the deposit may intensify as the deposit is developed [1].

Based on archive materials analyzed, given up-to-date data obtained in the course of works under contractual projects, a predictive model is built for tritium radionuclide migration by means of mathematical models. The following has been determined: reserves of these radionuclides concentrated in rocks enclosing a hypocentral UNE zone in “warfare” borehole 1071 are the major source of ground water contamination with tritium in the region of borehole 559.

УДК 551.49:614.876:622.245:539.16

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ С ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ  
В РАЙОНЕ БОЕВОЙ СКВАЖИНЫ 1071 НА ПЛОЩАДКЕ «БАЛАПАН»****Субботин С.Б., Зеленский К.Л., Ларионова Н.В., Романенко В.В.,  
Супрунов В.И., Пронин С.С., Актаев М.Р., Мельничук М.А.****Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан**

В статье представлен обзор результатов исследований миграции техногенных радионуклидов с подземными водами и характера радиоактивного загрязнения геологической среды в результате водной миграции. Исследуемый участок расположен на территории испытательной площадки «Балапан» бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП). В состав площади исследуемого участка входит эпицентральной зоны подземного ядерного взрыва (ПЯВ), проведенного в «боевой» скважине 1071, а также зона влияния Каражырского тектонического разлома, включая территорию прилегающую к действующему карьеру угольного месторождения «Каражыра» на площадке «Балапан».

В работе использован метод оценки распределения радионуклидов в подземных водах по его содержанию в растениях на дневной поверхности. По результатам исследования трития в растениях установлен источник радиоактивного загрязнения, а также выявлены точки с повышенным содержанием, перспективные для бурения исследовательских скважин.

На основании полученных данных по концентрации стабильных изотопов дейтерия и кислорода-18 ( $^2\text{H}/^{18}\text{O}$ ) установлено, что подземные воды, в пределах исследуемого участка, находятся преимущественно в зоне влияния региональных атмосферных выпадений, образующихся в осенний и зимний периоды.

По результатам проведенных работ установлено, что для свободной воды обводненных рыхлых горных пород характерны значения концентрации трития соизмеримые с его активностью в подземных водах и достигают 25000 Бк/кг. В интервалах, залегающих выше уровня подземных вод, наличие трития обусловлено процессом миграции этого радионуклида, связанного с капиллярным поднятием подземных вод в рыхлых грунтах.

В статье предложен вариант места расположения и конфигурация нового пруда испарителя для эффективной его работы в настоящее время. В составе рекомендаций предлагается два метода по изоляции источника радиоактивного загрязнения подземных вод.

**ВВЕДЕНИЕ**

Начиная с 30-х годов, территория СИП рассматривалась как перспективная для поисков полезных ископаемых. Здесь были обнаружены: вольфрам, бериллий, железо, флюорит. С началом проведения испытаний ядерного оружия геологоразведочные исследования прекратились. После закрытия СИП, огромная территория, бывшая до 1991 года военным полигоном, вновь стала представлять интерес в плане изучения и использования недр. По современным геологоразведочным данным на территории СИП выявлены площади и участки для поисков золотого, медно-порфирового (медь, молибден, золото), редкометального (вольфрам, молибден) оруденения и каменного угля. В целом, на территории СИП разведано около 130 месторождений природных ископаемых.

В связи с вовлечением в эксплуатацию месторождений на территории СИП стала актуальной проблема безопасной добычи полезных ископаемых в условиях радиоактивного загрязнения подземных вод. При этом, на первое место выступают профилактические мероприятия, целью которых является предупреждение загрязнения и ограничение его масштабов.

Угольное месторождение «Каражыра» не первый год является объектом исследований, поскольку является уникальным в своем роде месторождением, благодаря своему расположению на территории проведения подземных ядерных испытаний – бывшем СИП [1]. Разведка месторождений и добыча полезных ископаемых на данной территории бала начата с 1991 года. Условия полигона, условия ведения горных работ и относительная близость скважин, в которых проводились подрывы ядерных зарядов, налагают определённые требования к разработке месторождения в области радиационной безопасности. Основным проблемным вопросом эксплуатации месторождения «Каражыра» в данных условиях является вероятность поступления к границам месторождения подземных вод, загрязненных радиоактивными продуктами подземных ядерных взрывов. В 2015 году на территории земельного отвода в одной из гидрогеологических скважин обнаружены повышенные значения концентрации трития. В настоящее время на прилегающей к месторождению территории проводятся комплексные исследования характера распространения техногенных радионуклидов в подземных водах и горных породах.

## 1. ОБЩАЯ МЕТОДОЛОГИЯ РАБОТ

Общая методология работ включала в себя последовательное проведение следующих блоков работ.

*Получение предварительных данных о характере распространения трития в подземных водах по данным его содержания в растительном покрове, необходимых для уточнения мест бурения исследовательских скважин.* Выявление источника загрязнения и уточнение характера распространения трития требует бурения большого количества буровых скважин. Однако в 2008 году впервые для различных экосистем СИП была выявлена корреляционная зависимость между изменением концентрации  $^3\text{H}$  в растениях и его содержанием в грунтовых водах.

В качестве показателей содержания  $^3\text{H}$  в грунтовых водах в определенной степени могут быть использованы представители различных экологических групп растений по отношению к воде. Несколько более показательными с точки зрения биоиндикации  $^3\text{H}$  в грунтовых водах являются фреатофиты, однако между удельной активностью  $^3\text{H}$  в свободной воде для всех исследуемых растений и удельной активностью  $^3\text{H}$  в грунтовых водах также прослеживается достаточно хорошая линейная зависимость [2].

Метод определения содержания  $^3\text{H}$  в грунтовых водах по его содержанию в растениях использован в данной работе. Работы по исследованию растительного покрова в зонах предполагаемого загрязнения  $^3\text{H}$  подземных (приповерхностных) вод на участке работ проводились в несколько этапов. Рекогносцировочные исследования включали отбор проб растений по сети 400×400 м – всего 30 точек обследования (рисунок 1).

В качестве исследуемого растения был выбран повсеместно произрастающий доминантный вид – полынь (*Artemisia terrae-albae*). Содержание радионуклида  $^3\text{H}$  в растениях определялось в свободной воде, полученной из конденсата. Далее было проведено уточнение зоны загрязнения радионуклидом  $^3\text{H}$  грунтовых вод с отбором проб растений по сети 200×200 м (рисунок 1). Во всех пробах было определено содержание  $^3\text{H}$  в свободной воде растений, а также органически-связанный  $^3\text{H}$ , определение которого основано на подготовке растительных образцов путем разложения на устройстве «Oxidizer».

*Исследование радионуклидного загрязнения геологической среды.* Выбор точек бурения гидрогеологических скважин по результатам исследования растений. Получение точных данных о концентрации техногенных радионуклидов ( $^3\text{H}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$ ) в подземных водах по результатам опробования пробуренных исследовательских скважин.

*Компонентный состав подземных вод.* Оценка особенностей компонентного состава подземных вод для определения их типа и происхождения.

*Распределение радионуклидов в грунтах в зонах радионуклидного загрязнения подземных вод.* Ре-

зультаты проведенных исследований на СИП показали возможность миграции радионуклидов из полостей ядерных взрывов, которые в благоприятных геолого-структурных условиях могут достигать значительных расстояний. Для количественной оценки радиоактивного загрязнения геологической среды были проведены исследования механизмов распределения техногенных радионуклидов в горных породах в зонах миграции радионуклидов с подземными водами. Для чего, на всех участках бурения был проведен отбор проб бурового шлама для проведения лабораторных анализов по определению концентрации техногенных радионуклидов.

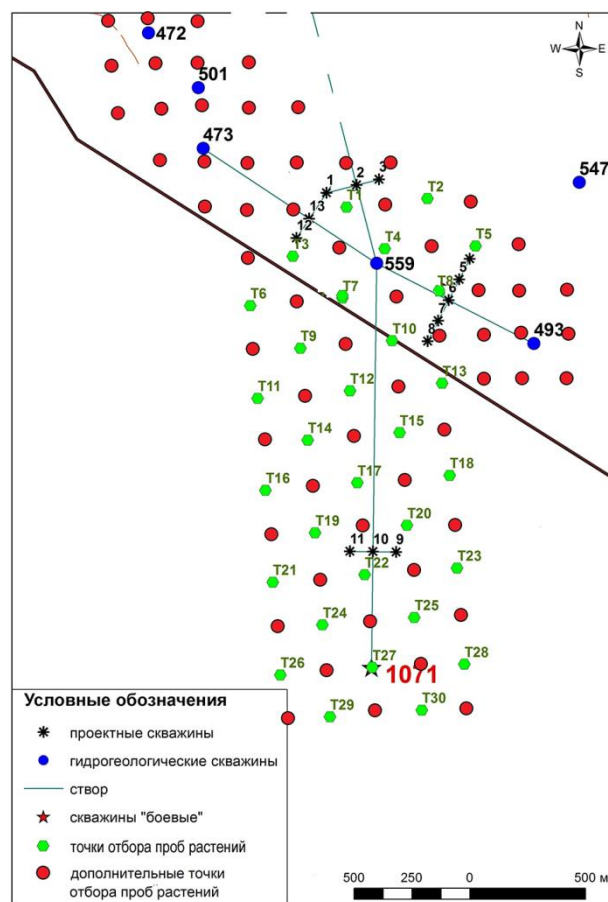


Рисунок 1. Схема точек отбора растений

*Предложения по защите от загрязненных потоков подземных вод.* Рассмотрена текущая обстановка использования пруда испарителя и предложен вариант места расположения нового пруда испарителя для эффективной его работы в настоящее время.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ПО СОДЕРЖАНИЮ В РАСТЕНИЯХ

На основании обобщения всех полученных данных, построены схемы распределения трития в растительном покрове исследуемой территории (рисунок 2, а, б).

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ С ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ  
В РАЙОНЕ БОЕВОЙ СКВАЖИНЫ 1071 НА ПЛОЩАДКЕ «БАЛАПАН»**

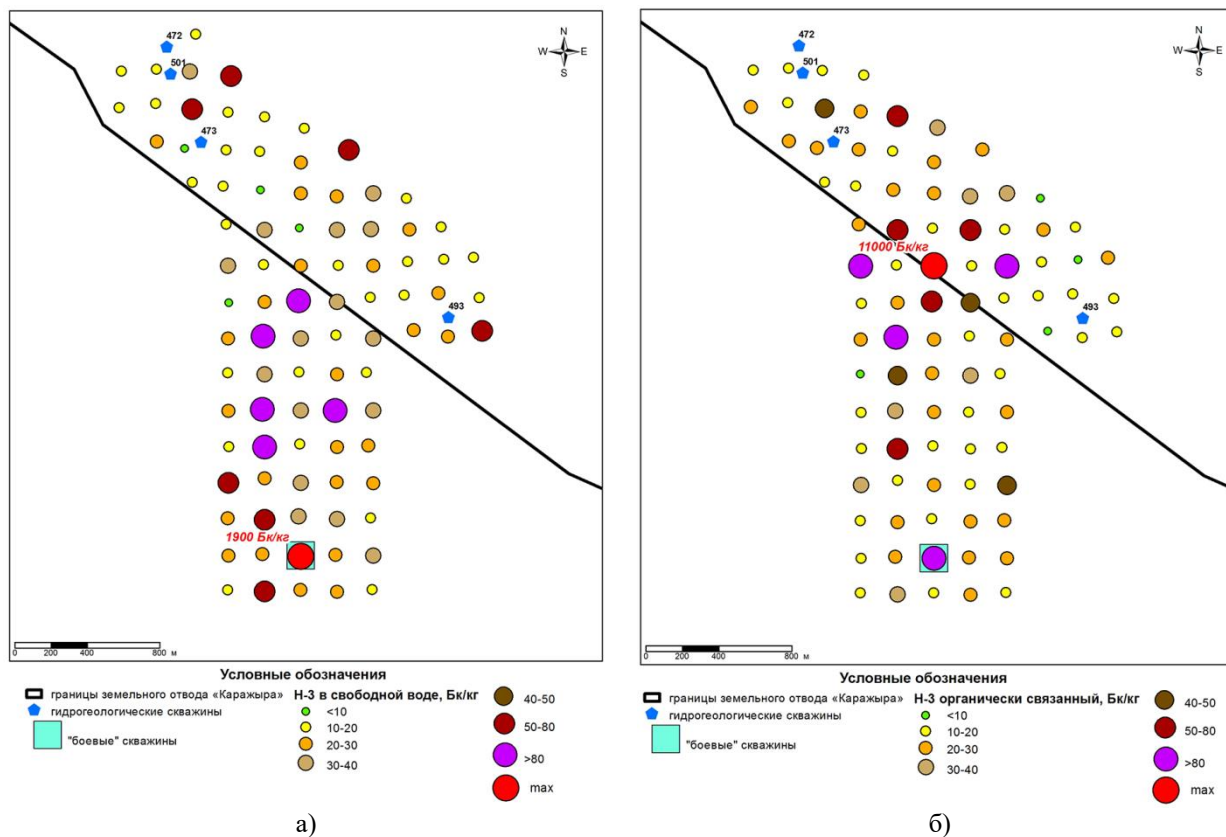


Рисунок 2. Схема распределения радионуклида  $^3\text{H}$  в свободной воде (а) и в органической составляющей растений (б) на исследуемой территории

Для уточнения мест заложения гидрогеологических скважин было принято решение об уточнении характера распространения трития на 2-х потенциально перспективных участках. Первый участок выделен в районе «боевой» скважины 1071, как источник радиоактивного загрязнения подземных вод. Второй участок расположен в северо-западной части исследуемой территории в районе предполагаемого движения загрязненного потока подземных вод по зоне влияния Каражырского разлома в сторону разрабатываемого карьера.

### 3. ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

#### 3.1. Оценка состояния подземных вод

По результатам исследования трития в растениях установлен источник радиоактивного загрязнения, а также выявлены точки с повышенным содержанием, перспективные для бурения исследовательских скважин (рисунок 3).

В точках с повышенным содержанием трития в растениях пробурены гидрогеологические скважины:

- для получения данных о загрязнении подземных вод в непосредственной близости от «боевой» скважины 1071 в 20 м на север пробурена одна скважина;

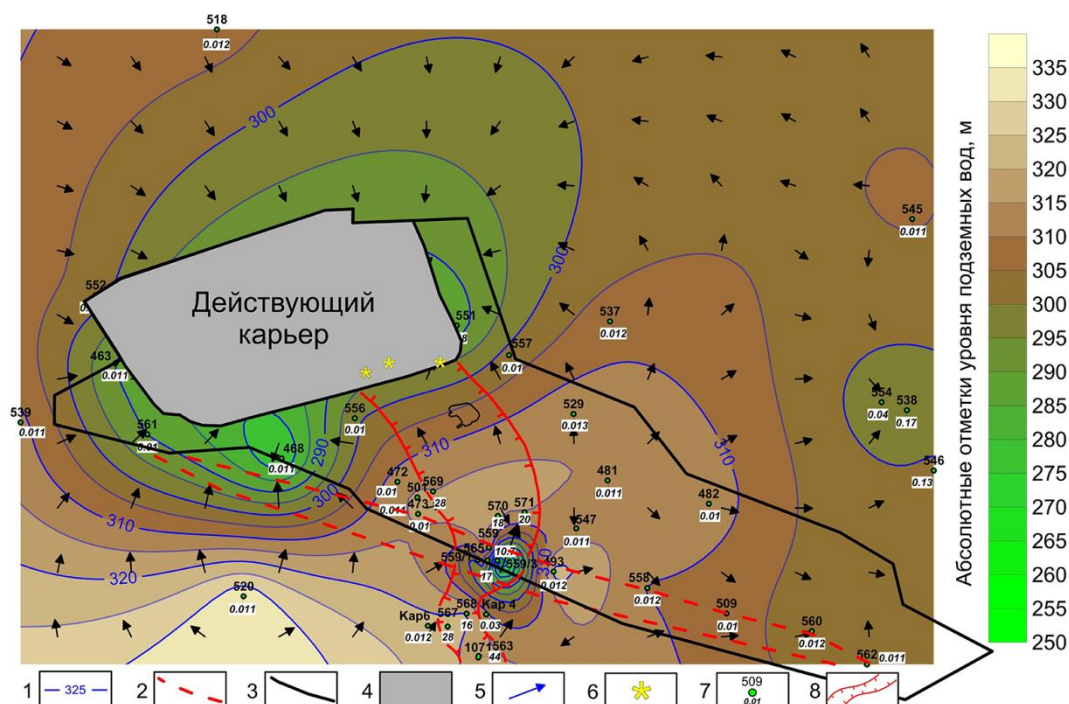
- для определения ширины, для оценки объема загрязненного потока движущегося от скважины 1071, пробурено 4 скважины;

- для оценки структуры загрязненного потока в районе скважины 559 (непосредственно в зоне Каражырского разлома) пробурен створ из трех скважин;

- для получения данных о продвижении загрязненного потока, в 500 м на север от скважины 559 пробурено 2 скважины и 700 м на северо-запад пробурена одна скважина (рисунок 3).

Оценка характера радиоактивного загрязнения подземных вод в районе «боевой» скважины 1071 и гидрогеологической скважины 559 проведена по результатам анализа данных лабораторных анализов проб подземных вод, отобранных и пробуренных скважин и карьера (таблица 1).

Согласно полученным данным, содержание трития в подземных водах на участке исследования изменяется в широком диапазоне значений от <12 Бк/кг до 33000 Бк/кг. Значение концентрации трития в подземных водах в непосредственной близости от скважины 1071/1 составляет 44000 Бк/кг. По мере удаления от скважины 1071, по направлению потока, концентрация трития существенно снижается. В скважинах Кар1 и Кар2 содержание трития изменяется в пределах 28000 и 16000 Бк/кг, соответственно.



- 1) изогипсы уровня подземных вод; 2) тектонические нарушения; 3) граница земельного отвода; 4) оработанная часть карьера в 2015 году; 5) направление движения подземных вод; 6) точки отбора проб подземных вод, разгружающихся в карьер; 7) наблюдательная скважина "Каражыра": в числителе – номер скважины, в знаменателе – концентрация трития в Бк/кг; 8) предполагаемое направление движения загрязненного потока подземных вод

Рисунок 3. Схема расположения скважин с концентрацией трития в подземных водах

Таблица 1. Результаты лабораторных анализов проб воды на радионуклиды

№ п/п	№ скв.	Интервал отбора, м	Бк/кг			
			<sup>3</sup> H	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>239+240</sup> Pu
1	Кар 1	9,0	25000	< 0,03	100 ± 20	< 0,0005
2		46,5	25000	< 0,02	53 ± 8	< 0,0005
3	Кар 2	5,0	33 000	—	—	—
4		50,0	15 000	< 0,03	6,4 ± 1,0	< 0,0005
5	Кар 3	4,0	—	< 0,03	—	—
6		7,0	—	—	0,10 ± 0,02	< 0,0005
7		28,0	< 11	< 0,03	0,005 ± 0,003	< 0,0005
8	Кар 4	4,0	30	—	—	—
9	Кар 6	5,0	< 12	—	—	—
10	Кар 7		21 000	—	—	—
11		6,0	-	< 0,03	0,07 ± 0,01	< 0,0005
12	Кар 8		18 000	—	-	-
13		9,0	-	< 0,03	0,007 ± 0,003	< 0,0005
14	Карьер	—	3,5 ± 0,7	—	—	—
15	Карьер	—	5,6 ± 1,0	—	—	—
16	Карьер	—	5,6 ± 1,0	—	—	—
УВ [5]			7600	11	4,9	0,55

Концентрация трития в картировочных скважинах Кар4 и Кар6 не превысила нормативных значений, что говорит о том, что ширина потока загрязненных вод на данном участке составляет примерно 200 м. В скважинах Кар7 и Кар8 концентрация три-

тия равна 18000 и 20000 Бк/кг, соответственно. Данный факт свидетельствует о том, что поток загрязненных вод поступает на территорию земельного отвода месторождения и, согласно данным карты гидроизогипс, перемещается в сторону разрабатываемого карьера.

### 3.2. Оценка особенностей компонентного состава подземных вод для определения их типа и происхождения

#### 3.2.1. Химический состав подземных вод

Результаты лабораторных анализов проб подземных вод по определению компонентного состава из скважин, пробуренных в 2016 году на месторождении «Каражыра», представлены в таблице 2.

Результаты по определению содержания микроэлементов приведены в таблице 3.

Анализ полученных данных показал, что в пробах подземных вод из скважин Кар1 и Кар2 значения общей минерализации составили 20,0 и 24,4 г/дм<sup>3</sup>, соответственно, что значительно выше, чем в скважинах Кар4 и Кар6 (10,8 и 5,6 г/дм<sup>3</sup>). Данный факт дает основание утверждать то, что загрязненные подземные воды, поступающие из центральных зон ПЯВ, обладают повышенной минерализацией. Т.е. более минерализованными они стали в результате прохождения через зоны деформаций ПЯВ, где помимо радионуклидов происходило растворение других элементов.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ С ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ  
В РАЙОНЕ БОЕВОЙ СКВАЖИНЫ 1071 НА ПЛОЩАДКЕ «БАЛАПАН»**

Таблица 2. Результаты общего химического анализа

№ п/п	Регистр.	№ скв.	Жесткость, мг-экв/дм <sup>3</sup>	рН	Содержание компонентов, мг-экв %						Минерализация, г/дм <sup>3</sup>
					Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
1	111883	Кар1	103	8,5	69	8,5	22	71,7	0,86	27	20,0
2	108911	Кар2	127,5	7,7	69	8,0	23	71,0	1,0	28	24,4
3	112631	Кар3	121	7,4	66	12	22	72	1,0	27	21,6
4	111895	Кар4	49,5	7,9	72	10	17	62	1,7	37	10,8
5	111894	Кар6	37	8,2	59	26	15	27	2,2	71	5,6
6	108929	Кар7	120	8,5	68	10	22	68	0,8	31	23,0
7	108922	Кар8	97,5	8,0	70	8,6	21	71,5	0,9	28	19,8

Таблица 3. Результаты микроэлементного анализа

№ п/п	№ пробы	№ скв.	Интервал отбора, м	Содержание элементов, мкг/л												
				V	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Sr	Mo	Cd	Cs	Ba	Pb	U
1	108914	КАР1	9,0	54	340	3,0	50	90	60	11000	86	1,0	< п.о	30	25	1,2
2	111883		46,5	60	210	2,0	40	100	50	11000	30	0,40	0,80	23	110	1,2
3	111893	КАР2	5,0	54	5300	7,0	40	100	50	9000	240	2,4	2,0	62	120	60
4	108911		50,0	15	770	6,0	33	170	7,0	13300	25	0,5	10	50	0,20	—
5	111872	КАР 3	7,0	94	70	11	80	160	310	15400	20	0,6	< п.о	12	120	80
6	112631		28,0	74	114	11	27	30	—	19000	5,6	0,60	0,40	—	0,45	15
7	111895	КАР 4	4,0	30	230	7,0	30	42	73	6500	35	0,50	0,40	53	120	115
8	111894	КАР 6	5,0	10	300	3,0	30	15	22	4600	280	1,6	0,20	26	130	30
9	108929	КАР 7	6,0	35	850	23	24	400	18	12070	50	0,5	0,10	28	0,20	5,0
10	108922	КАР 8	5,0	26	230	3,0	12	150	4,0	11400	55	0,2	0,10	45	0,30	1,0
ПДК для воды [5]				100	100	100	100	1000	5000	7000	250	1	—	700	30	15

Подтверждением данного утверждения являются данные по микроэлементному анализу. Наиболее представительными являются данные по меди и стронцию. Если в скважинах Кар4 и Кар6 содержание меди содержится до 42 мкг/л и стронция до 6500 мкг/л, то в скважинах Кар1 и Кар2 содержание данных микроэлементов возросло в два и более раза – до 170 мкг/л по меди и до 13300 мкг/л по стронцию, соответственно.

### 3.2.2. Изотопный анализ (<sup>2</sup>H/<sup>18</sup>O)

Во всех отобранных пробах подземной воды проводилось определение отношений стабильных изотопов дейтерия и кислорода-18 (<sup>2</sup>H/<sup>18</sup>O). Результаты представлены в таблице 4.

Согласно полученным результатам, изотопный состав поровых вод месторождений «Каражыра» изменяется от -15,8 до -16,7 ‰ по <sup>18</sup>O и от -112,6 до -117,1 ‰ по <sup>2</sup>H, для трещинных вод – от 15,7 до 17,0 ‰ по <sup>18</sup>O и от -117,7 до -119,7 ‰ по <sup>2</sup>H. В целом, изотопный состав трещинных вод отличается более облегченными значениями относительно состава поровых вод.

Для анализа механизмов образования и наличия процессов водообмена, все полученные результаты наложены на локальную линию метеорных вод (ЛЛМВ) со среднемесячными значениями изотопов в региональных атмосферных выпадениях (согласно  $\delta^2H=7 \cdot \delta^{18}O+10$ ). Результаты представлены на рисунке 4.

Таблица 4. Отношение изотопов <sup>2</sup>H/<sup>18</sup>O в подземных водах

№ п/п	№ пробы	№ скважины	Интервал отбора, м	δ <sup>2</sup> H, ‰	δ <sup>18</sup> O, ‰
1	108914	КАР 1	9,0 (поровые воды)	-114,4	-15,9
2	111883		46,5 (трещинные воды)	-119,7	-16,9
3	111893	КАР 2	5,0 (поровые воды)	-113,4	-15,8
4	108911		50,0 (трещинные воды)	-117,7	-17,0
5	111873	КАР 3	4,0 (поровые воды)	-112,6	-16,2
6	111872		7,0 (трещинные воды)	-117,9	-15,7
7	112631		28,0 (трещинные воды)	-117,9	-16,9
8	111895	КАР 4	4,0 (поровые воды)	-114,5	-16,2
9	111894	КАР 6	5,0 (поровые воды)	-114,8	-16,5
10	108929	КАР 7	6,0 (поровые воды)	-116,1	-16,7
11	108922	КАР 8	5,0 (поровые воды)	-117,1	-16,5

Результат анализа полученных данных показал, что все подземные воды находятся преимущественно в зоне влияния региональных атмосферных выпадений, образующихся в осенний и зимний периоды. При этом отмечается наличие водообмена между поровыми и трещинными подземными водами (таблица 4).

### 3.2.3. Распределение радионуклидов в грунтах в зонах радионуклидного загрязнения подземных вод

Результаты анализов по отобранным пробам шлама представлены в таблице 5.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ С ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ  
В РАЙОНЕ БОЕВОЙ СКВАЖИНЫ 1071 НА ПЛОЩАДКЕ «БАЛАПАН»**

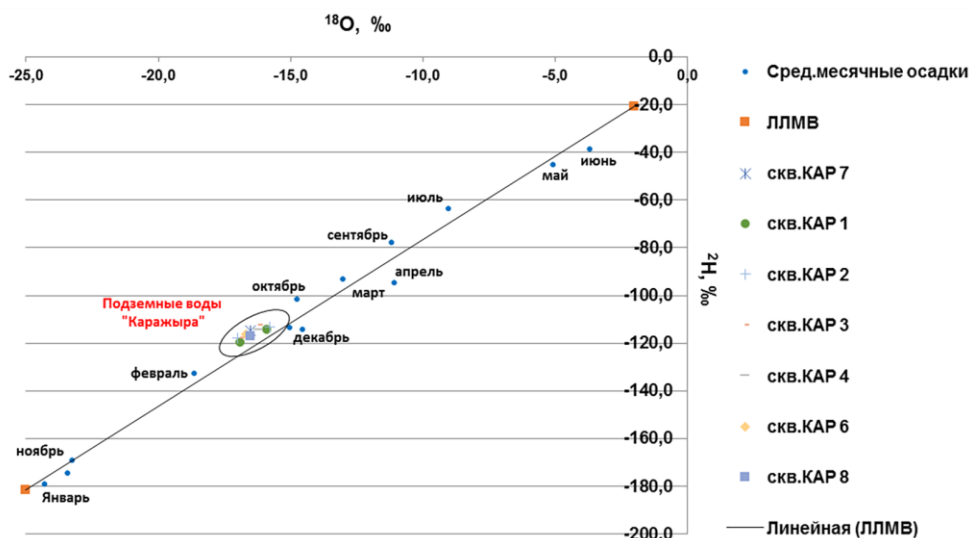


Рисунок 4. Распределение изотопов в региональных атмосферных осадках и водах «Каражыра»

Таблица 5. Результаты лабораторных анализов проб горных пород из скважин

№ п/п	№ скв.	Интервал отбора	Бк/кг				
			<sup>3</sup> H	<sup>137</sup> Cs	<sup>241</sup> Am	<sup>90</sup> Sr	<sup>239+240</sup> Pu
1	Кар 1	0	70	10 ± 1	< 1	2,6 ± 0,7	6,7 ± 0,8
2		10,0	14000	< 1	< 1	< 1,1	< 0,1
3		15,0	21000	< 1	< 1	< 1,1	< 0,1
4		20,0	18000	< 1	< 1	< 1,1	< 0,1
5		25,0	14000	< 1	< 1	< 1,1	< 0,1
6		30,0	13000	< 1	< 1	< 1,1	< 0,1
7		35,0	13000	< 1	< 1	< 1,1	< 0,1
8	Кар 2	0	25	10 ± 1	5 ± 1	0,9 ± 0,6	47 ± 2
9		5,0	22000	< 1	< 1	34 ± 5	< 0,2
10		10,0	25000	< 1	< 1	36 ± 5	0,4 ± 0,2
11		15,0	9000	< 1	< 1	0,9 ± 0,5	< 0,1
12		20,0	4500	< 1	< 1	1,0 ± 0,4	< 0,1
13		25,0	4000	< 1	< 2	< 0,6	< 0,1
14		30,0	7000	< 1	< 1	< 0,8	< 0,1
15	35,0	7000	< 1	< 1	3,3 ± 0,8	< 0,1	
16	Кар 3	0	350	30 ± 3	4 ± 1	2,5 ± 0,7	48 ± 2
17		5,0	150	< 1	< 1	< 1,1	< 0,1
18	Кар 7	0	250	15 ± 2	< 2	4,1 ± 0,7	36 ± 2
19		5,0	2000	< 1	< 1	1,6 ± 0,7	1,2 ± 0,3
20		10,0	2200	< 1	< 1	1,0 ± 0,7	< 0,1
21	Кар 8	0	300	10 ± 1	< 2	4,2 ± 0,7	17 ± 1
22		5,0	7500	< 1	< 2	< 0,9	< 0,1
23		10,0	2000	< 1	< 1	< 1,1	< 0,1
24		15,0	5600	< 1	< 1	< 1,1	< 0,1
25		20,0	4800	< 1	< 1	< 1,1	–
26		25,0	4500	< 1	< 1	< 1,1	< 0,1
27		30,0	7000	< 1	< 1	< 1,1	< 0,1
28		35,0	4000	< 1	< 1	< 1,2	< 0,1
29		40,0	3000	< 1	< 1	< 1,2	< 0,1
30		45,0	3700	< 1	< 1	< 1,1	< 0,1
МЗУА [5]			1 млрд	1000	1000	100 000	1000

Можно отметить, что наличие радионуклидов <sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am установлено только в верхнем слое грунта на глубину до 5 см. При этом удельная ак-

тивность <sup>241</sup>Am не превышает 5 Бк/кг, удельная активность <sup>137</sup>Cs составляет от 10 Бк/кг до 30 Бк/кг, значение концентраций по <sup>239+240</sup>Pu достигает 48 Бк/кг. Данная особенность распределения характерна для поверхностного загрязнения территории СИП и не связана с радиоактивным загрязнением горных пород в результате процессов миграции техногенных радионуклидов с подземными водами. Иная картина распределения установлена для радионуклидов <sup>90</sup>Sr и трития.

*Стронций-90.* Наличие <sup>90</sup>Sr в грунтах установлено в скважинах Кар2 и Кар7. В скважине Кар2 загрязнены водовмещающие пески в интервалах 5 и 10 м, где удельная активность <sup>90</sup>Sr составила 34 и 36 Бк/кг, соответственно. В скважине Кар7 загрязнен водовмещающий опесчаненный суглинок в интервалах 5 и 10 м с удельной активностью <sup>90</sup>Sr до 1,6 Бк/кг. Очевидно, что данное загрязнение могло образоваться только в результате миграции <sup>90</sup>Sr с подземными водами из «боевой» скважины 1071.

*Тритий.* Исследование содержания <sup>3</sup>H показало иной характер его распределения по глубине, в отличие от других радионуклидов. Согласно полученным данным минимальное содержание <sup>3</sup>H, до 350 Бк/кг, зафиксировано в поверхностном 5-ти сантиметровом слое грунта. В более глубоких слоях содержание <sup>3</sup>H во всех скважинах в буровом шлеме составило порядка n·10<sup>4</sup> Бк/кг. Исключение составила скважина Кар3, где содержание <sup>3</sup>H в верхнем слое 0-5 см составляет 350 Бк/кг, а на глубине 5 м – 150 Бк/кг. Очевидно, что столь высокое содержание <sup>3</sup>H в обводненных интервалах горных пород связано с его высоким содержанием в подземных водах. В интервалах горных пород, залегающих выше уровня подземных вод, наличие трития обусловлено процессом его миграции, связанным с капиллярным поднятием подземных вод.

#### 4. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ОТ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОТОКОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Рассмотрим действующие и проектируемые защитные мероприятия от загрязненных потоков на месторождении. До настоящего времени положительную роль в плане защитных мероприятий играл действующий пруд-испаритель. Он находится между карьером и "боевыми" скважинами (рисунок 5).

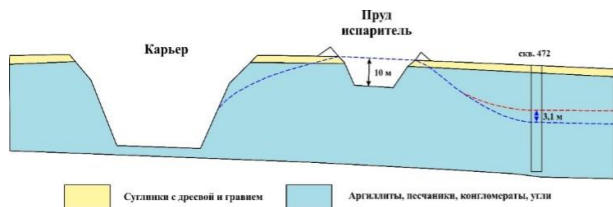


Рисунок 5. Старый пруд-испаритель

На рисунке 5 представлен бывший разведочный разрез, глубиной местами до 10 м площадью 57 га с общим объемом 570 тыс. м<sup>3</sup>. Дренажные воды по трубопроводам поступают в пруд-испаритель. Часть дренажных вод летом испаряется, а какой-то объем вод фильтруется в водоносный горизонт и возвращается в действующий карьер. В результате наполнения дренажными водами пруда-испарителя в наблюдательных скважинах был отмечен подъем уровней до 3,5 м. В результате чего, вокруг пруда-испарителя образовался бугор рассеивания подземных вод, который создал своеобразный «барраж» на пути миграции потоков загрязненных подземных вод со стороны «боевых скважин». В настоящее время, в результате приближения бортов действующего карьера к пруду-испарителю наблюдается увеличение доли воды фильтрующейся обратно в карьер. В связи с чем, в наблюдательных скважинах прослеживается тенденция снижения уровней подземных вод, которая в ряде скважин достигает 1,0 м.

Таким образом, в настоящее время остро стоит вопрос о переносе пруда испарителя в наиболее выгодное место, где бы он помимо роли пруда-испарителя продолжал бы выполнять защитную функцию, как это делал старый пруд-испаритель. Предлагаемое место оборудования нового пруда испарителя показано на рисунке 6.

Место для оборудования нового пруда-испарителя предложено ТОО «Павлодаргидрогеология» в районе гидрогеологической скважины 559. Размеры пруда-испарителя приняты 400×700 м, глубина 5 м, т.е. площадью:  $F_{п}=280000 \text{ м}^2$ , а объемом  $V_{п}=1400000 \text{ м}^3$ . Средний водопиток в карьер за 23 года составляет 438000 м<sup>3</sup>/год. Количество воды, фильтрующейся в водоносный горизонт 276000 м<sup>3</sup>/год. Для обеспечения поступления дренажных вод в обводняемые породы внутри пруда будут пробурены нагнетательные скважины диаметром 500 мм, глубиной 50 м. Ожидается, что каждая скважина будет проводить в водоносный слой до 1200 м<sup>3</sup>/год. Согласно элементарным расчетам данный пруд прослужит 30 лет.

#### 5. ПРЕДЛОЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Строительство и эксплуатация нового пруда-испарителя не сможет полностью решить проблемы возможного поступления загрязненных подземных вод в действующий карьер. При анализе прогнозной карты гидроизогипс (рисунок 7) можно отметить, что в результате купола рассеивания в районе пруда испарителя, поток загрязненных вод от «боевой» скважины 1071 изменит направление движения с северного на северо-западное, что может привести к снижению расстояния от скважины до карьера и, следовательно, сокращению сроков поступления загрязненных вод в карьер. В связи с чем, мы разработали альтернативный способ защиты (рисунок 8), который заключается в следующем.

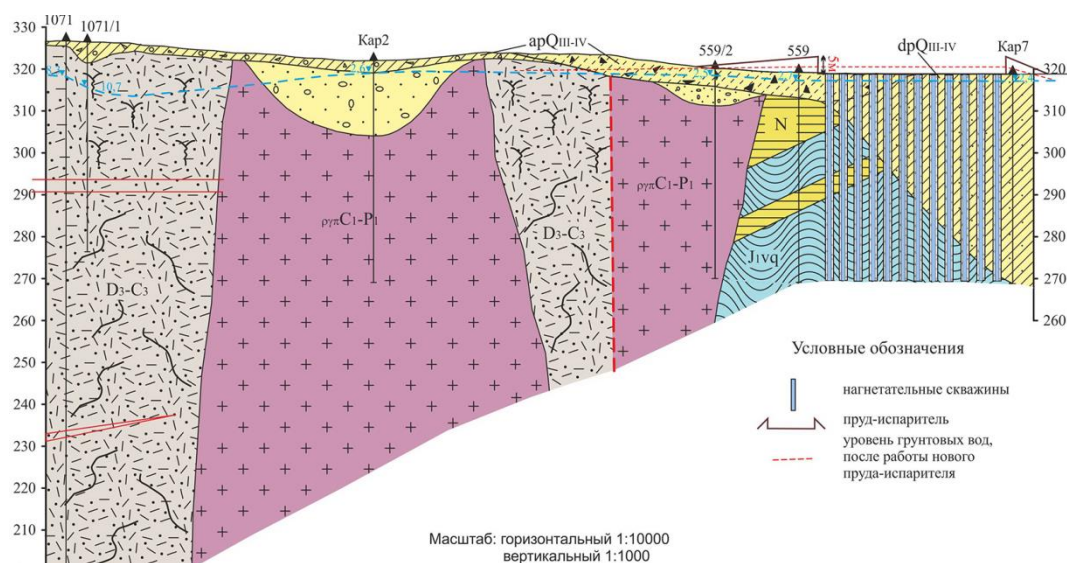


Рисунок 6. Конструкция нового пруда-испарителя



**ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ С ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ  
В РАЙОНЕ БОЕВОЙ СКВАЖИНЫ 1071 НА ПЛОЩАДКЕ «БАЛАПАН»**

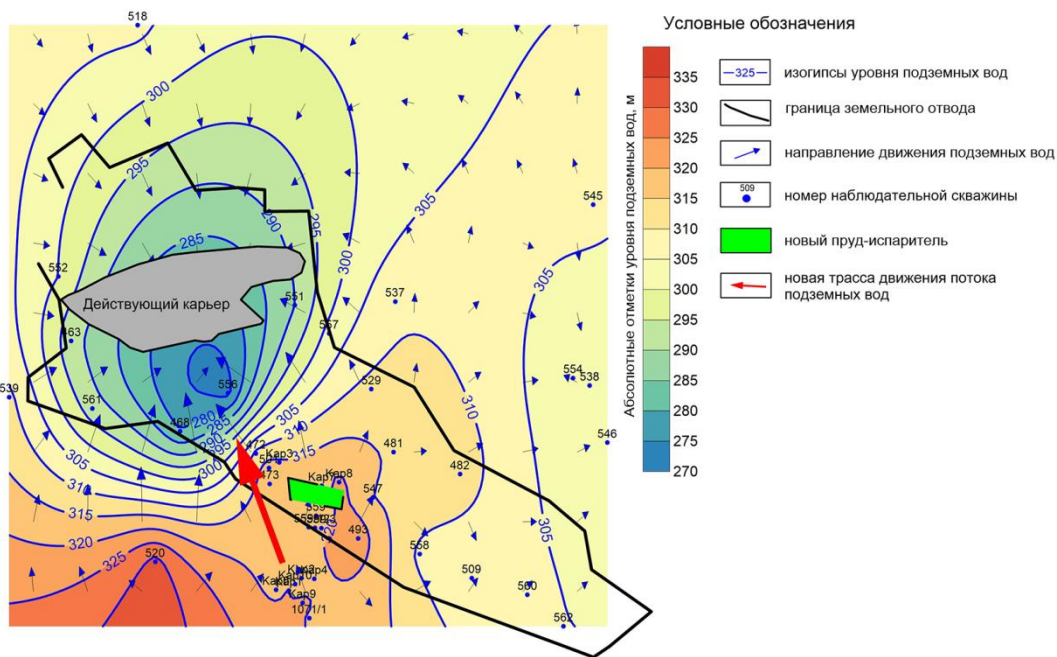
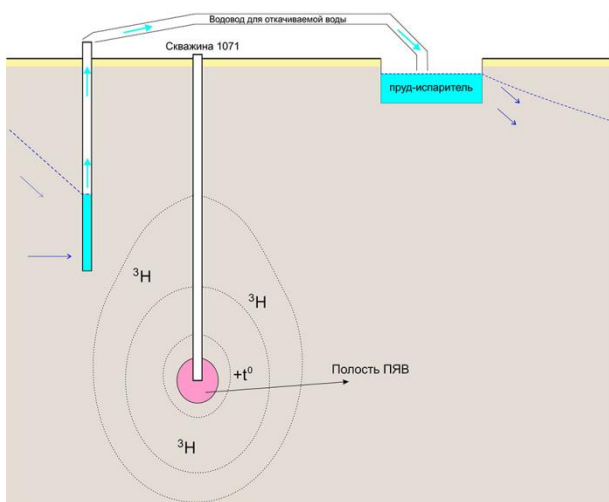
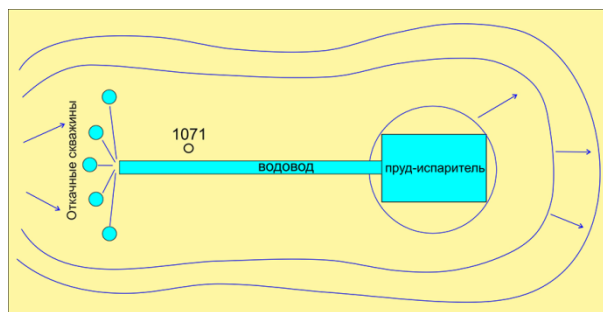


Рисунок 7. Прогнозная карта гидроизогиц



а)



б)

Рисунок 8. Предложения по ликвидации процесса загрязненных подземных вод (а – в разрезе; б – сверху)

Для общего понимания рассмотрим механизм загрязнения подземных вод. Подземные воды по зоне дробления поступают в район котловой полости, нагреваются, растворяют радионуклиды и возвращаются обратно в водоносный горизонт. Предложение предусматривает проведение мероприятий, исключающих поступление подземных вод в центральные зоны ПЯВ. В данном случае предлагается два метода по изоляции источника радиоактивного загрязнения. Оба метода предполагают бурение технологических скважин вокруг скважины 1071.

Первый метод предполагает откачивание подземных вод из технологических скважин, не давая им возможности поступать в зоны необратимых деформаций. В данном случае подземные воды откачива-

ются из скважин погружными насосами и поступают по водоводу в пруд-испаритель (рисунок 8).

Второй метод заключается в тампонировании водоносного горизонта специальным раствором, что исключит возможность поступления подземных вод в зоны необратимых деформаций.

В обоих методах необходимо провести комплекс изыскательских работ по определению пространственной конфигурации зоны дробления по которой происходит погружение подземных вод в центральные зоны ПЯВ включая: бурение скважин, опытно-фильтрационные и каротажные работы.

## Выводы

На основе результатов распределения трития в растениях были получены контуры загрязненного потока, определено место нахождения источника радиоактивного загрязнения подземных вод, по которым на данном участке являются блоки горных пород, вмещающие центральные зоны ПЯВ, проведенного в «боевой» скважине 1071. На общем фоне четко выделяется ряд точек с повышенным содержанием в свободной воде растений (1900 Бк/кг – вблизи от «боевой» скважины 1071), в районе гидрогеологических скважин 559 и 495.

Поток загрязненных вод поступает на территорию земельного отвода месторождения и, согласно данным карты гидроизогипс, перемещается в сторону разрабатываемого карьера. В пределах изученной территории радиоактивного загрязнения горных пород  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  в настоящее время не происходит. В скважинах Кар2 и Кар7 установлено наличие  $^{90}\text{Sr}$  на глубине до 10 м. Установленные

значения концентрации  $^{90}\text{Sr}$  радиационной опасности не представляют, но данный процесс требует отдельного изучения для оценки степени сорбции  $^{90}\text{Sr}$  на добываемом угле.

Отдельные исследования необходимо провести по загрязнению геологической среды тритием. По результатам проведенных работ установлено, что для свободной воды обводненных рыхлых горных пород характерны значения концентрации трития соизмеримые с его активностью в подземных водах и достигают 25000 Бк/кг. В интервалах, залегающих выше уровня подземных вод, наличие трития обусловлено процессом миграции этого радионуклида, связанного с капиллярным поднятием подземных вод в рыхлых грунтах. В качестве принятия мер по предотвращению поступления радиоактивных вод в карьер предлагается оборудование пруда испарителя с нагнетательными скважинами с суммарным расходом вод 1200 м<sup>3</sup>/год. Согласно элементарным расчетам данный пруд прослужит 30 лет.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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. Кузеванов // Актуальные вопросы радиозологии Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2010 г.]. – Т. 2. – Вып. 3. – Павлодар: Дом печати, 2011. – С. 161–232.: ил. – ISBN 978-601-7112-53-0.
2. Ларионова Н.В. Исследование возможности использования растений в качестве показателей содержания  $^3\text{H}$  в грунтовых водах / Ларионова Н.В., Лукашенко С.Н., Субботин С.Б [и др.]. // Вестник НЯЦ РК. – 2009. – Вып. 2. – С. 18–25.
3. Определение содержания искусственных радионуклидов плутония-(239+240), стронция-90 и цезия-137 в воде методом концентрирования. KZ.07.00.01684-2013 от 21.02.2013.
4. Качество воды. Определение объемной активности трития. Метод подсчета сцинтилляций в жидкой среде: ISO 9698:2010. – Введ. 1989-12-01. – Москва: ВЦП НТЛИД, 1990. – 17 с.
5. Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности». Утверждены приказом Министра национальной экономики Республики Казахстан от 27.02.2015 года № 155. – 112 с.

## «БАЛАПАН» АЛАҢЫНДАҒЫ №1071 ӘСКЕРИ ҰҢҒЫМАНЫҢ АУМАҒЫНДА ЖЕРАСТЫ СУЛАРЫМЕН РАДИОНУКЛИДТЕРДІҢ ЖЫЛЫСТАУ ЖОЛДАРЫН ЗЕРТТЕУ

С.Б. Субботин, К.Л. Зеленский, Н.В. Ларионова, В.В. Романенко, В.И. Супрунов, М.Р. Ақтаев, М.А. Мельничук

*ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатова, Қазақстан*

Мақалада, сумен жылыстау нәтижесінде геологиялық ортаның радиоактивті ластану сипаты мен жерасты суларымен техногенді радионуклидтердің жылыстауын зерттеу нәтижелеріне шолу жасалды. Зерттеліп жатқан аумақ бұрынғы Семей сынақ полигонындағы (ССП) «Балапан» сынақ алаңының аумағында орналасқан. Зерттеу телімінің аумағына №1071 «әскери» ұңғымада жүргізілген жерасты ядролық жарылыстың (ЖЯЖ) эпицентрлік аймағынан басқа «Балапан» алаңындағы қолданыстағы «Қаражыра» көмір кенорны карьеріне жақын жатқан аумақтармен бірге Қаражыралық тектоникалық омырылуға әсер ету аймағы енеді.

Жұмыс барысында, күндізгі беткі қабаттағы өсімдіктердің құрамына жерасты суларымен радионуклидтердің таралуын бағалау әдісі қолданылды. Өсімдіктердегі тритийді зерттеу нәтижелері бойынша радиоактивті ластанушы көзі, сонымен қатар зерттеу ұңғымаларын бұрғылауда перспективалы жоғары құрамды нүктелер анықталды.

Дейтерий тұрақты изотопының шоғырлануы мен оттегі-18 ( $^2\text{H}/^{18}\text{O}$ ) бойынша алынған деректер негізінде, зерттеліп жатқан телімнің шегіндегі жерасты сулары күз бен қыс кезінде түзілетін өңірлік атмосфералық түсулердің әсер ету аймағында басым күйде екені анықталды.

Өткізілген жұмыстардың нәтижелері бойынша, су тұнған борпылдақ тау жыныстарындағы бос сулар үшін тритийдің шоғырлану мәнінің жерасты суларындағы оған тең белсенділігі 25000 Бк/кг жететіні анықталды. Жерасты суларынан жоғары деңгейде жатқан аралықта тритийдің орын алуы борпылдақ топырақтардағы

жерасты суларының капиллярлы көтерілуімен байланысты осы радионуклидтің жылыстау процесімен шартталған.

Мақалада, қазіргі уақытта тиімді жұмыс жасауы үшін жаңа буландырғыш тоғанның конфигурациясы мен орналасатын жеріне қатысты нұсқасы ұсынылды. Ұсыныстар қатарында жерасты суларының радиоактивті ластану көзін оқшаулау бойынша екі әдіс беріледі.

#### RESEARCH INTO MIGRATION PATHWAYS OF RADIONUCLIDES WITH GROUND WATER IN THE REGION OF WARFARE BOREHOLE 1071 AT “BALAPAN” SITE

S.B. Subbotin, K.L. Zelensky, N.V. Larionova, V.V. Romanenko, V.I. Suprunov, M.R. Aktayev, M.A. Melnichuk

*Branch “Institute of Radiation Safety and Ecology” NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

The article presents a review of research findings on the status of ground water in the region of “warfare” borehole 1071 located in the territory of “Balapan” testing site at the former Semipalatinsk test site (STS). Apart from the epicentral area of an underground nuclear explosion (UNE) conducted in borehole 1071, the area of interest includes the impact zone of Karazhyra tectonic fault including the territory adjacent to the operating open pit of “Karazhyra” coal deposit at “Balapan” site.

The paper uses an assessment method of radionuclide distribution in ground water by tritium content in plants on the daylight surface. Based on research results of tritium in plants, a source of radioactive contamination has been found as well as prospective drilling points of elevated content for research boreholes.

Based on data obtained on the concentration of stable isotopes of deuterium and oxygen-18 ( $^2\text{H}/^{18}\text{O}$ ), it is found that ground water within the area of interest is predominantly in the zone of impact by regional atmospheric fallout formed in the autumn and winter periods.

The article proposes the alternate location and configuration of a new evaporation pond for it to operate effectively.

УДК 577.4: 628.9 (084.3)

## РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОЙ КАРТЫ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Каиржанов А.Е., Омарханова А.О., Стрильчук Ю.Г.

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

В данной работе представлены результаты разработки информационного приложения «Интерактивная карта СИП». Интерактивная карта содержит историческую информацию о проведении ядерных испытаний во всём мире, а также современную информацию о радиоэкологическом состоянии почвенного покрова, воздушного бассейна, подземных и грунтовых вод, поверхностных водоёмов, флоры и фауны Семипалатинского испытательного полигона. Представленная в интерактивной карте информация формирует у пользователей представление о последствиях испытаний ядерного оружия в мире.

*Ключевые слова:* интерактивная карта, Семипалатинский испытательный полигон, информационные технологии.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует очень много информации о ядерных испытаниях, проводимых разными странами, в разных частях планеты Земля. В последнее время увеличилось количество туристов, желающих посетить СИП, но нет возможности посетить все объекты полигона. Появилась необходимость отобразить и предоставить посетителям музея СИП официальную информацию в одном интуитивно понятном приложении. Интерактивная карта объединяет в себе большой объём картографического материала, который сопровождается текстовой информацией, опубликованной в официальных книгах о ядерных испытаниях на СИП. Также собрана и представлена историческая информация о ядерных испытаниях на других полигонах СССР, США, Великобритании, Франции, Пакистана, Индии, Китая и Северной Кореи.

В приложении представлен большой объём картографического материала, который сопровождается выдержками из научных трудов, архивными фото и видеоматериалами, снимками объектов, специальными картами современной радиационной обстановки СИП. Интерактивная карта включает в себя разработки из области современных информационных технологий, таких как объёмные снимки, спутниковые карты, геопозиционирование объектов.

Таким образом, целью данной работы являлось объединение большого объёма картографического и вспомогательного материала в одном компьютерном приложении.

### РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОЙ КАРТЫ

Разработка структуры и дизайна интерфейса является одной из основных задач. Структура должна быть последовательной и понятной, а интерфейс должен быть простым и функциональным. Структура интерактивной карты представлена на рисунке 1.

На картах различных масштабов расположены интерактивные точки, которые открывают дополнительные окна с информацией разных форматов.

Представленные карты были сформированы из спутниковых снимков Google, Bing и Yandex, путём наложения на них .kml файлов с границами полигонов и площадок. Каждая страница интерактивной карты разделяется на две области. В левой большей области происходит смена карт, все карты представлены в разрешении 1200×900 пикселей, но в разных масштабах. Переход от карты мира к карте полигона или площадки исключает плавное масштабирование, то есть все карты дискретны. В правой части страницы одновременно с картами происходит смена текстовой информации, и кнопок перехода к предыдущей, главной или определённой странице. Примеры интерфейса представлены на рисунках 2–3.

Для выбора программного обеспечения было протестировано 10 программ, таких как Adobe Flash Professional, Interactive Menu, Wisy Builder и другие. Но при создании интерактивной карты с помощью данных приложений возникла проблема. При импортировании имеющейся информации данные приложения не справлялись с таким объёмом информации, что приводило к нестабильной работе конечного файла. И только одна программа – Auto Play Menu Builder соответствовала поставленным требованиям:

- возможность объединения разноформатных файлов;
- компактная расстановка элементов управления;
- файл интерактивной карты должен помещаться на флэш карте среднего размера;
- возможность работы без подключения к интернету;
- запуск конечного файла на любом компьютере;
- бесплатный доступ к программному обеспечению;
- возможность постоянного обновления информации.



Рисунок 1. Структура интерактивной карты

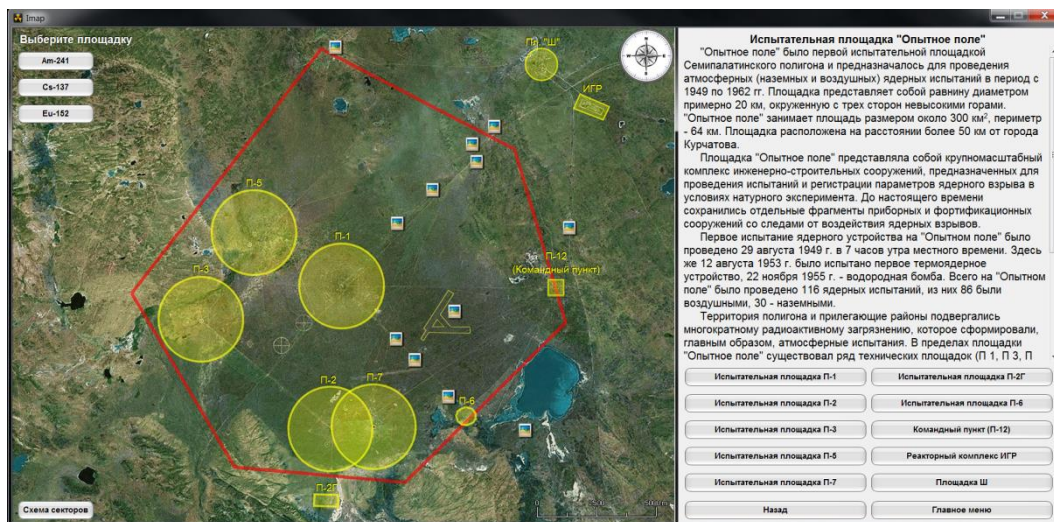


Рисунок 2. Выбор испытательной площадки

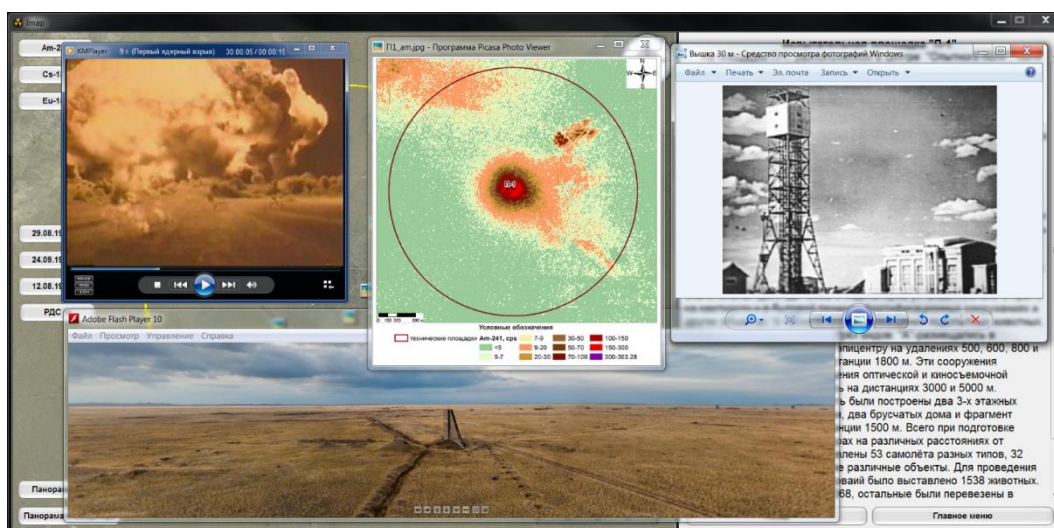


Рисунок 3. Выбор интересующей информации (фото, видео, специальные карты)

Пользователями интерактивной карты, в основном, являются посетители музея СИП. Первоначальная демонстрация интерактивной карты осуществлялась через сенсорный моноблок диагональю 65 сантиметров. Позже переоборудован экран телевизора диагональю 165 сантиметров в сенсорный дисплей, при помощи наложения на него инфракрасной рамки. Это позволило напрямую управлять интерактивной картой, путём прикосновения к активным областям экрана.

Работа с информацией – самый трудоёмкий и длительный процесс в данной работе, происходящий по настоящее время. Существует огромное ко-

личество источников информации о ядерных испытаниях. Выбраны официальные источники, произведён анализ, выделена и переведена в электронный формат основная информация.

Поиск информации происходит в официальных книгах и на специальных интернет-порталах. Для обработки файлов было применено несколько современных приложений: программа космических снимков Google, Bing, Yandex, графические редакторы, программа сканирования и распознавания текста, видео редактор, программа для создания панорамных снимков 360°, проигрыватель Flash файлов и различные офисные программы.

В результате проведённой работы была создана интерактивная карта, содержащая в себе 100 космических снимков, на которых компактно размещены:

- более 100 архивных фотографии;
- более 300 фото объектов с привязкой к местности;
- более 30 специальных карт распределения радионуклидов;
- 30 видеофайлов различных ядерных испытаний;
- 5 объёмных панорамных снимков 360°;
- свыше 100 страниц текстовой информации;
- приблизительно 600 проработанных элементов интерфейса;
- около 1000 активных точек.

Первая версия протестирована с сотрудниками разных подразделений ИРБЭ НЯЦ РК. Вторая версия выставлена в музее СИП в качестве экспоната. Также в 2016 году интерактивная карта передана в Библиотеку Первого Президента РК в качестве ин-

формационного экспоната. Некоторые гости музея активно пользовались интерактивной картой, просматривали видеоролики ядерных испытаний, фотографии объектов полигона, перечитывали текстовую информацию. Управление интерактивной картой оказалось простым и интуитивно понятным.

#### Выводы

Таким образом, работа над интерактивной картой продолжалась более двух лет. Собранная информация отображает последствия ядерных испытаний во всём мире. Основной объём информации по Семипалатинскому испытательному полигону собран и представлен, в приложении планируется дополнение фотографиями объектов, актуальными картами распределения радионуклидов, после их публикации. Также планируется создание интернет-версии, перевод на государственный и английский языки. В настоящее время приобретено оборудование для создания виртуальных туров по СИП.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ядерные испытания СССР. Семипалатинский полигон. Факты, свидетельства, воспоминания. Обеспечение общей и радиационной безопасности ядерных испытаний / Кол. авт. под рук. проф. В. А. Логачева. – М.: ИГЕМ РАН, 1997. – 314 с.
2. Ядерные испытания СССР. Новоземельский полигон / Кол. авт. под рук. проф. В. А. Логачева – М.: Изд. АТ, 2000. – 485 с.
3. Ядерные испытания СССР. Современное радиэкологическое состояние полигонов / Кол. авт. под рук. проф. В. А. Логачева – М.: Изд. АТ, 2002. – 639 с.
4. Ядерные взрывы в СССР. Северный испытательный полигон. Справочная информация / В. Н. Михайлов, Ю. В. Дубасов, А. М. Матущенко. – Изд. 2. – СПб., 1997. – 163 с.
5. Ядерные испытания СССР / Кол. авт. под ред. В. Н. Михайлова. – М.: Изд. АТ, 1997. – 304 с.
6. Меч и щит России. Ракетно-ядерное оружие и системы противоракетной обороны / В. А. Матвеев, Э. М. Кесватера, В. К. Панюхин, В. В. Мальцев, С. Г. Потехин. – Калуга: Калуга-пресс, 2007. – 620 с.
7. Советский атомный проект. Конец атомной монополии / Е. А. Негин, Л. П. Голуцова, Г. Д. Куличков, П. П. Максименко, Г. С. Окутина. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2000. – 215 с.
8. Ядерные испытания СССР / Кол. авт. под ред. В. Н. Михайлова. – Т.2. – М.: Begel-Atom, LLC. – 302 с.
9. Акчурин, И. А. Семипалатинский ядерный полигон: создание, становление, деятельность / И. А. Акчурин. – М.: Голден-Би, 2007. – 258 с.
10. Логачев, В. А. Мирные ядерные взрывы: обеспечение общей и радиационной безопасности при их проведении / под ред. В. А. Логачева. – М.: Изд. АТ, 2001. – 348 с.
11. Создание первой советской ядерной бомбы / под ред. В. Н. Михайлова. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 445 с.

## СЕМЕЙ СЫНАҚ ПОЛИГОНЫНЫҢ ИНТЕРАКТИВТІ КАРТАСЫН ӘЗІРЛЕУ

А.Е. Қайыржанов, А.О. Омарханова, Ю.Г. Стрільчук

*ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатова, Қазақстан*

Аталған жұмыста, «ССП интерактивті картасы» ақпараттық қосымшасын әзірлеу нәтижелері келтірілген. Интерактивті картада бүкіл әлемдегі өткізілген ядролық сынақтар жайлы ақпараттар, сонымен қатар Семей сынақ полигонының қазіргі уақыттағы топырақ жамылғысы, ауа бассейні, жерасты және топырақасты сулардың, жербеткі кабаттағы су қоймаларының, флора мен фаунаың радиэкологиялық жай-күйі жайлы ақпараттар берілген. Интерактивті картада ұсынылған ақпаратты пайдаланушыларда әлемдегі ядролық қаруды сынаудың зардаптары жайлы көрініс қалыптасады.

*Кілт сөздер:* интерактивті карта, Семей сынақ полигоны, ақпараттық технологиялар.

**DEVELOPMENT OF INTERACTIVE MAP OF SEMIPALATINSK TEST SITE**

**A.E. Kairzhanov, A.O. Omarkhanova, Yu.G. Strilchuk**

*Branch "Institute of Radiation Safety and Ecology" of the RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

The paper provides results on development of information application called «Interactive map of the STS». The interactive map contains historical information about nuclear tests have ever been conducted in the whole world, as well as up-to-date information on the state of soil cover, air basin, ground and underground waters, surface water objects, flora and fauna of Semipalatinsk Test Site. The information presented in the interactive gives the user an idea of consequences of testing nuclear weapons around the world.

*Key words:* Interactive map, Semipalatinsk Test Site, information technologies.

УДК 621.039.8.003

## ОБЗОР НЕЙТРОННО-ТРАНСМУТАЦИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ КРЕМНИЯ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРАХ

Романова Н.К., Шаймерденов А.А., Гизатулин Ш.Х., Накипов Д.А., Чакров П.В., Кенжин Е.А.

*РГП «Институт ядерной физики» Министерства энергетики РК, Алматы, Казахстан*

В статье приведен обзор современного уровня развития нейтронно-трансмутационных технологий по легированию кремния на исследовательских ядерных реакторах. Рассмотрены основные тенденции развития рынка мировой полупроводниковой промышленности. Согласно базе данных МАГАТЭ, 24 из 240 исследовательских реакторов, которые эксплуатируются, занимаются нейтронно-трансмутационным легированием (НТЛ) кремния [1]. Метод НТЛ кремния основан на ядерных превращениях изотопа кремния при захвате ими тепловых нейтронов. В результате ядерной реакции  $Si^{30}(n,\gamma)Si^{31} \rightarrow P^{31} + \beta$ , при облучении слитков кремния в ядерном реакторе потоком тепловых нейтронов, образуются ядра легирующей примеси фосфора-31. Быстрые нейтроны разрушают кристаллическую решетку кремния, образуя радиационные дефекты, поэтому в зоне облучения необходимо максимально термализировать спектр нейтронов. Облучение слитков кремния можно проводить в одном из двух режимах: статический или динамический. Метод НТЛ позволяет получать однородность легирования лучше, чем при использовании других методов. Также в статье представлены результаты проведенных исследований по обработке технологии НТЛ кремния на исследовательском реакторе ВВР-К.

### ВВЕДЕНИЕ

Важным применением полупроводников является их использование для производства приборов высокой мощности - это мощные диоды, тиристоры, транзисторы, интегральные схемы. Они применяются при передаче электроэнергии на большие расстояния, в энергоёмких производствах, в системах электропитания. Кремний составляет 70 % всех потребляемых микроэлектроникой материалов [2]. В том числе и для производства фоточувствительных приборов, фотодиодов и фототранзисторов, разнообразных сенсорных устройств, прецизионных микромеханических систем. Важную роль кремний играет в быстроразвивающейся солнечной энергетике. Более 90 % всех солнечных элементов изготавливаются из кристаллического кремния. Перспективным направлением является кремниевая оптоэлектроника. Здесь, следует отметить светоизлучающие приборы и фотодетекторы. В транспортной отрасли: при производстве гибридных автомобилей используются биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT) с сопротивлением на уровне 50 Ом×см; в высокоскоростных электрических поездах применяются запираемые тиристоры с интегрированным управлением (IGCT) с сопротивлением 250-500 Ом×см.

Сам по себе кремний не является проводником, поэтому его необходимо легировать, вводить примесь в состав. НТЛ полупроводников дает возможность получить однородность легирования на уровне 4–5 % по сравнению с 15–20 % при использовании металлургических технологий. По сравнению с кремнием, легированным обычными способами, НТЛ-кремний имеет следующие преимущества: а) легирующая примесь распределяется однородно по объему слитка; б) уровень легирования можно контролировать с высокой степенью точности.

Исследовательские реакторы являются мощными источниками нейтронов, поэтому они применяются для НТЛ кремния. Но большинство исследовательских реакторов были построены и введены в эксплуатацию в середине 90-х годов, поэтому на некоторых реакторах не были предусмотрены соответствующая инфраструктура и облучательные каналы большого диаметра. Это требует проведения модернизации и адаптации реакторов для внедрения технологии НТЛ. Современные тенденции в области НТЛ кремния показывают, что спросом пользуются слитки диаметром 6 дюймов, но спрос перемещается в область слитков с большим диаметром.

На исследовательском реакторе ВВР-К были проведены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, связанные легированием двух 6-ти дюймовых слитков кремния с высотой 202 и 278 мм. Результаты работ показали, что на реакторе ВВР-К возможно получение НТЛ слитков кремния, удовлетворяющих коммерческим требованиям.

### ИСТОРИЯ НТЛ КРЕМНИЯ

Первое описание получения полупроводников с равномерным распределением примеси путём нейтронной трансмутации было описано в работе К. Ларк - Горовицем в 1951 г. [3]. В 1961 г. М. Таненбаум и А.Д. Миллс в Лаборатории «Bell Telephone Laboratories» выполнили первый эксперимент по облучению нейтронами небольших кристаллов кремния с измерением распределения примеси фосфора [4]. Но, до середины 1970-х годов, такая технология получения полупроводников не использовалась в коммерческих целях, и в течении десятилетия практиковалась только в научно-исследовательских лабораториях. Коммерческим прорывом на рынок полупроводниковой промышленности был выпуск тиристоров для устройств высокой мощности в 1973 году [5]. Благодаря превосходству по ряду ха-



рактических этих устройств, несколько исследовательских реакторов США, Англии и Дании реализовали на своих облучательных установках технологию НТЛ кремния. Первое промышленное производство легированного кремниевого слитка Ø2 дюйма началось в 1974 году на датском реакторе DR2 на базе Национальной лаборатории RISO в сотрудничестве с датской компанией Topsil Frederikssund [6]. Количество легированного кремния к концу 1976 года достигло нескольких тонн.

В Великобритании первые облучения кремния были проведены на исследовательских реакторах DIDO и PLUTO в Харуэлле в 1975 году. После первых успешных испытаний объёмы производства легированного кремния возросли с 2-х тонн до уровня около 30 тонн в 1985 году [7]. К началу 1990-х эти реакторы подготовили технологические линии по производству легированного кремния до 35 тонн в год, но к тому времени их уже начали выводить из эксплуатации. За 15 лет на реакторах в Харуэлле было произведено свыше 206 тонн легированного кремния.

В Швейцарии с 1975 года по 1990 год облучили менее 200 кг полупроводникового кремния, и с 1992 года производство было увеличено до 2-х тонн.

В США (штат Миссури) на открытом бассейнового типа реакторе MURR (мощность 10 МВт) активно стали применять технологию НТЛ после нескольких пробных облучений в 1975 году [8].

В 1975 году в Агентстве по атомной энергии Японии (JAEA) проведены тестовые облучения на реакторе JRR-4, после которых началось коммерческое производство на установках других реакторов Японии [9]:

- JRR-4 производство слитков кремния Ø2.5, 4 и 5 дюймовых, длиной 45 см;
- JRR-2 производство трёх дюймовых слитков кремния;
- JRR-3M производство слитков Ø5 и 6 дюймов, длиной 30 см.

В Российской Федерации на исследовательском ядерном реакторе ВВР-Ц (15 МВт), в Обнинском отделении физико-химического НИИ им. Карпова технология НТЛ была реализована с начала 70-ых годов. На технологических линиях этого реактора проводится ядерное легирование кремния диаметром от 28–85 мм до 156 мм, при диапазоне номинального удельного сопротивления от 15 до 600 Ом×см.

Так же, установки для легирования кремния в России имеются [10]:

- на реакторе ИРТ-Т Томского политехнического университета, производительность установки составляет 10 т в год, на номинал 100 Ом×см;
- в научно-исследовательском институте атомных реакторов (НИИАР) г. Димитровград;
- в производственном объединении «Маяк» г. Озёрск.

К сожалению, более подробная информация об этих установках недоступна из-за ограничений по публикациям конфиденциальной информации.

На исследовательском реакторе FRM-II (Мюнхен, Германия) облучают монокристаллы кремния диаметром до 200 мм и высотой до 500 мм, номинал получаемого удельного сопротивления от 25 до 1000 Ом×см [11–13].

#### СОВРЕМЕННЫЙ СТАТУС НТЛ КРЕМНИЯ

Мировой спрос на НТЛ кремний стремительно рос вплоть до начала 1990-х годов. Но, с развитием других конкурентноспособных технологий объём его оставался примерно на уровне около 100 тонн в год до середины 2000-х годов. Спрос на силовые полупроводники стал быстро увеличиваться с быстрым ростом альтернативной энергетики и популярности применения технологий «Зелёной энергетики».

Схематично, позитивную тенденцию развития НТЛ, можно представить следующим образом: в 2005 году было произведено 60 миллионов новых гибридных автомобилей, и предполагается, что к 2030 году их производство может составить более 100 миллионов. Если, 50 % этих автомобилей будут иметь гибридные, электрические двигатели или двигатели на топливных элементах, то по предположению на 2030 год, число новых автомобилей оснащённых электродвигателями составит около 50 миллионов. Допустим, что одна 6-ти дюймовая нейтронно-трансмутационно легированная пластина (толщиной 1 мм) будет использована в автомобиле, то к 2030 году, потребуется более 2000 тонн для удовлетворения такого спроса [14].

В настоящее время, на рынке по производству НТЛ кремния преобладает облучение 5-ти и 6-ти дюймовых слитков, доля 4-х дюймовых резко снижается, но при этом возрастает спрос на 8-ми дюймовые, и их доля на рынке будет увеличиваться [15].

Исходными материалами для НТЛ могут быть кремний (Si), германий (Ge), арсенид галлия (GaAs), нитрид галлия (GaN), фосфид галлия (GaP), фосфид индия (InP), селенид индия (InSe), ртутно-кадмиевый теллурид (HgCdTe). Среди них кремний и германий относятся к IV группе углеродов периодической системы Менделеева. Валентные электроны кремния и германия вступают в ковалентную связь с валентными электронами соседних атомов, приводя к образованию алмазной решётки, т.е. двух проникающих гранцентрированных кубических решёток, смещённых по диагонали элементарной ячейки на четверть длины диагонали. Леглирующие атомы замещают атомы кремния и германия занимая их место в кристаллической решетке. Основными леглирующими атомами, являются фосфор (пяти валентный донор замещения) и бор (трёх валентный акцептор замещения) и их введение меняет удельное сопротивление полупроводника. Главным целевым объектом современных НТЛ технологий является - крем-

ний. Собственные атомы кремния состоят из трёх изотопов:  $^{28}\text{Si}$  (содержание - 92,23 %),  $^{29}\text{Si}$  (содержание - 4,67 %),  $^{30}\text{Si}$  (содержание - 3,1 %) [16]. Среди них, атомы  $^{28}\text{Si}$  и  $^{29}\text{Si}$  поглощая тепловой нейтрон, становятся стабильными атомами кремния. Взаимодействие с быстрым нейтроном приводит к образованию изотопов алюминия или магния. Однако вероятность этого типа взаимодействия очень мала. В случае с  $^{30}\text{Si}$  (сечение захвата  $\sigma=0,11$  барн), захват теплового нейтрона приводит к нестабильному изотопу  $^{31}\text{Si}$ , который подвергается  $\beta$ -распаду, по типу реакции  $\text{Si}^{30}(\text{n},\gamma)\text{Si}^{31}\rightarrow\text{P}^{31}+\beta$ , где продуктом этого процесса является атом фосфора  $^{31}\text{P}$ , приводящий к примесному легированию n-типа. Но, малое содержание  $^{30}\text{Si}$  ограничивает практическое применение легирования на природном кремнии с естественным содержанием изотопов, поэтому обогащение изотопом  $^{30}\text{Si}$  значительно увеличивает уровень легирования.

Кремниевые слитки выпускают в виде очень чистых монокристаллов. Степень чистоты зависит от способа их выращивания. Монокристаллы кремния выращивают одним из двух методов:

1) по методу Чохральского (CZ-Si). Наиболее важное преимущество этого метода состоит в том, что с его помощью выращивают крупные цилиндрические кристаллы монокристаллического кремния;

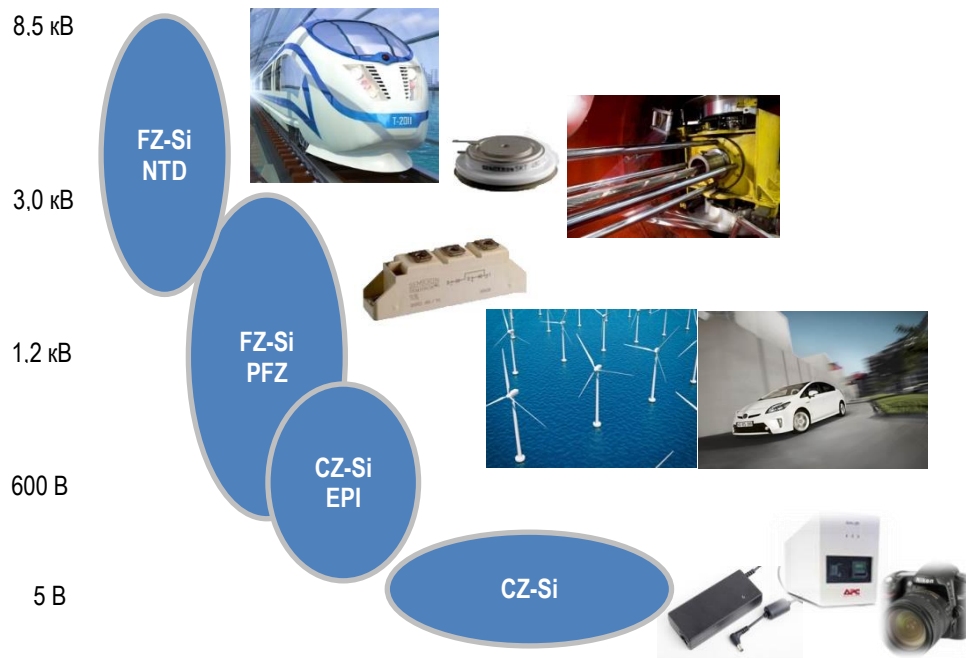
2) по методу зонной плавки (FZ-Si). Этот метод выращивания кристалла кремния, обеспечивает более высокое качество кристаллов, чем CZ-Si.

90 % кремния производится методом Чохральского. Диаметры производимых кристаллов стали больше, так как процесс их производства усовершенствован. Максимальный диаметр кристалла на рынке CZ-Si вырос с 8 до 12 дюймов. Методом зонной плавки производят кремний в основном диаметром 5 и 6 дюймов, уже в течение нескольких лет. Однако разрабатываются технологические линии для производства слитков кремния большего диаметра, но НТЛ кремния больших диаметров затруднено на некоторых существующих исследовательских реакторах из-за отсутствия облучательных каналов.

В таблице 1 приведены некоторые характеристики для полупроводников из кремния в зависимости от способа их выращивания [16].

Таблица 1. Характеристики для полупроводников FZ-Si и CZ-Si

Характеристика	FZ-Si	CZ-Si
Диаметр, мм	76,2–153	76,2–153
Тип проводимости (легирующая примесь)	n-тип (фосфор) p-тип (бор)	n-тип (фосфор) p-тип (бор)
Целевое удельное сопротивление, Ом·см	3500 → 30000 20 → 4000 1 → 300 0,5 → 10	0,2 → 70 (Si: подложка на основе мышьяка) 0,1 → 80 (Si: подложка на основе бора) 0,001 → 60



FZ-Si (PFZ) кремний для приборов и устройств с высоким уровнем мощности;  
CZ-Si (EPI) кремний для приборов и устройств со средним и низким уровнем мощности.

Рисунок 1. Схема зависимости потребляемой мощности электроприборов от способа производства полупроводников на их основе

Из приведённой таблицы следует, что кроме увеличения диаметра кристаллов, наметился спрос на увеличение целевого сопротивления полупроводников из кремния ( $>1000 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ). Это, по-видимому, связано с увеличением потребляемой электроприборами мощности. Схема зависимости, потребляемой мощности электроприборов от способа производства полупроводников представлена на рисунке 1. Она была составлена по материалам презентации датской компании Topsisil Semiconductor Materials A/S (ведущий производитель полупроводниковой техники на основе кремния) [17]. Анализ схемы показывает, что основное направление применения НТЛ кремния, в виде FZ-Si, является его использование в приборах и устройствах с высокой потребляемой мощностью (силовые полупроводники) (см. рисунок 1). По-видимому, это можно объяснить: во-первых, высоким качеством (чистотой) кремния, полученного методом зонной плавки, и, во-вторых, коротким временем облучения в реакторе. В случае с CZ-Si монокристаллами, легирующая примесь после легирования распределяется менее однородно, как в осевом, так и в радиальном направлении (например, эффект полосатости), что и ограничивает его использование в областях с малым допуском по разбросу сопротивлений. Но следует отметить, что на современном этапе развития полупроводниковой промышленности приборы и устройства на основе CZ-Si кремния, со средним и низким уровнем мощности, имеют большую коммерческую значимость в связи большими объёмами производства и ценовой конкуренцией.

Это накладывает всё более жесткие требования, предъявляемые к качеству полупроводниковых материалов, полученных нейтронной трансмутацией. Требуется высококачественные источники нейтронов, обеспечивающие хорошо контролируемую спектральную характеристику тепловых нейтронов. Так как, нейтронный поток в реакторе не является равномерным, то однородность распределения легирующей примеси будет зависеть от размеров облучаемых кристаллов и технологии облучения. Точность соответствия целевого сопротивления легирования, определяемого заказчиком на рынке полупроводниковой промышленности, является основным критерием качества процесса легирования в реакторе. На первоначальном этапе непосредственное влияние на конечное сопротивление будет оказывать начальное удельное сопротивление, которое должно быть значительно высоким по сравнению с целевым. Равномерность облучения выражается радиальными и осевыми изменениями конечного сопротивления после облучения. Можно сказать, что точность в сочетании с равномерностью, влияют на качество конечной продукции легирования. Технические требования радиального и аксиального градиента удельного электрического сопротивления, конеч-

но же будут зависеть от заказчика, но по данным МАГАТЭ [14] не должны превышать 5-8 %.

В таблице 2 приведены названия реакторов, которые по данным МАГАТЭ производили НТЛ кремний для нужд мирового рынка полупроводниковой промышленности к концу 2012 года. Список стран, практикующих НТЛ технологии, представленные в таблице 2, далеко не полный, т.е. существуют и другие реакторы, которые производят НТЛ кремний, например, в Российской Федерации, США, Казахстане и т.д.

*Таблица 2. Список реакторов, производящих НТЛ кремний\**

Реактор (мощность, МВт)	Страна	Количество НТЛ кремния, тонн в год
OPAL (20 МВт)	Австралия	≈ 25
BR2** (100 МВт)	Бельгия	15 и 60
IEA-R 1 (5 МВт)	Бразилия	≈ 1,2
CARR*** (60 МВт)	Китай	50
HFETR (125 МВт)	Китай	10
MJTR (5 МВт)	Китай	20
LVR-15 (10 МВт)	Чешская республика	0,5
ORPHEE (14 МВт)	Франция	≈ 10
OSIRIS (70 МВт)	Франция	≈ 12
FRM II (20 МВт)	Германия	≈ 15
HANARO**** (30 МВт)	Республика Корея	20
HFR***** (45 МВт)	Нидерланды	11,2
MARIA (30 МВт)	Польша	6,2 (для Ø 5") 9,5 (для Ø 6")
JEEP II (2 МВт)	Норвегия	4
SAFARI-1 (20 МВт)	Южная Африка	≈ 20
<b>ИТОГО:</b>		<b>≈290 тонн</b>

\* – по данным 2012 года; \*\* – две облучательные позиции SIDONIE и POSEIDON; \*\*\* – оценочно; \*\*\*\* – только для позиции NTD2; \*\*\*\*\* – данные 2004 года (IAEA-Review 2005-006).

На основании данных таблицы 2 построена диаграмма долевого участия (в %) 12 стран в мировом производстве НТЛ кремния (см. рисунок 2). Из диаграммы видно, что к концу 2012 года основными производителями кремния для нужд рынка мировой полупроводниковой промышленности, являлись три страны: Китай ~ 28 % мирового производства; Бельгия ~ 26 % и Австралия ~ 9 %.

РГП «Институт ядерной физики» (ИЯФ) Министерства Энергетики Республики Казахстан эксплуатирует исследовательский реактор ВВР-К. ВВР-К – это реактор бакового типа, с тепловым спектром нейтронов и тепловой мощностью 6 МВт. На реакторе ВВР-К имеется технологическая возможность реализации нейтронно-трансмутационных технологий в каналах большого диаметра: облучательные вертикальные каналы диаметром 100 и 200 мм в боковом водяном отражателе реактора; касательный горизонтальный канал диаметром 192 мм; и ниша тепловой колонны диаметром 1000 мм.



Рисунок 2. Долевое участие стран в мировом производстве НТЛ кремния (%)

В период 2011–2015 гг. в рамках сотрудничества между ИЯФ и Агентством по атомной энергии Японии (JAEA) по проекту «Отработка технологии нейтронного легирования кремния» [18] были проведены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы связанные с облучением двух 6-ти дюймовых слитков CZ-Si кремния в вертикальном облучательном канале реактора. Исследования характеристик поля нейтронов нейтронно-активными детекторами показали, что, для получения кремния с удельным сопротивлением  $\sim 400 \text{ Ом}\cdot\text{см}$  потребуется  $\sim 4,4$  часа облучения при значении плотности потока тепловых нейтронов  $\sim 2,8 \times 10^{12} \text{ нейтр.}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{сек}^{-1}$  на уровне центральной плоскости активной зоны. Для снижения радиальной неоднородности было разработано специальное устройство позволяющее перемещать (вверх-вниз) и вращать вокруг своей оси слитки кремния во время облучения. После облучения оба слитка были отправлены в Японию для измерений удельного сопротивления. Слитки были подвергнуты отжигу, разрезаны на диски с шагом 50 мм по высоте, и измерены аксиальные и радиальные значения удельного сопротивления четырёхзондовым методом [19].

Результаты измерений аксиальных и радиальных значений удельного сопротивления приведены в таблице 3 [20, 21] и в таблице 4 [22].

Проведённые исследования по отработке технологии НТЛ кремния показали, что на реакторе ВВР-К возможно создание линии по легированию кремния в коммерческих целях. Качество легированного на реакторе ВВР-К кремния (радиальная и осевая неравномерность) может быть улучшено за счёт совершенствования технологии облучения [22].

Таблица 3. Аксиальные значения удельного сопротивления для двух слитков - №1 ( $\varnothing 151 \text{ мм} \times 202 \text{ мм}$ ) и №2 ( $\varnothing 151 \text{ мм} \times 278 \text{ мм}$ )

Точки измерения	$\Omega, \text{ Ом}\cdot\text{см}$	
	№1	№ 2
1 диск	448,3	425,1
2 диск	429,3	415,5
3 диск	424,6	387,3
4 диск	425,3	379,7
5 диск	431,0	378,3
6 диск	-	382,7

Таблица 4. Радиальные значения удельного сопротивления для слитка №2

Точки измерения	$\Omega, \text{ Ом}\cdot\text{см}$					Max.	Min.
	R1	R2	R3	R4	R5		
1 диск	436,6	426,7	420,6	421,7	428,6	436,6	419,2
2 диск	411,6	411,5	423,8	408,3	405,5	424,0	405,5
3 диск	389,8	390,5	388,1	384,1	382,1	390,5	382,1
4 диск	368,0	380,5	384,7	381,4	374,1	385,5	368,0
5 диск	370,8	377,9	381,8	379,9	374,3	382,1	370,8
6 диск	374,6	383,8	391,7	378,2	367,3	392,0	367,3

### Выводы

С развитием альтернативной энергетики и популярностью «зелёной энергетики» технология НТЛ кремния становится все более востребованной.

Обзор современного рынка легированного кремния показал, что в настоящее время идёт увеличение спроса не только на кристаллы кремния диаметром больше 8-ми дюймов, но и на высокое целевое сопротивление полупроводников кремния ( $>1000 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ), используемого в качестве так называемых силовых полупроводников. В связи, с чем выдвигаются всё более жесткие требования к качеству полупроводниковых материалов, полученных этим методом. Проблема состоит в том, что для удовлетворения растущего спроса на слитки кремния большого диаметра (10 дюймов и выше) необходимы облучательные каналы большого диаметра, а большинство существующих реакторов имеют каналы не более 200 мм. Поэтому для удовлетворения увеличивающегося спроса на легированный кремний необходима не только реконструкция существующих технологических линий и увеличение производственных мощностей, но и привлечение других действующих исследовательских реакторов, на которых возможно решение современных задач по легированию кремния.

Проведённые исследования по отработке технологии НТЛ кремния на исследовательском реакторе ВВР-К, показали возможность создания линии по производству легированного кремния в коммерческих целях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. IAEA Research Reactor Database <https://nucleus.iaea.org/RRDB/RR/>
2. Грибов, Б.Г. «Нужен ли России собственный кремний? Судьба стратегического материала. / Электроника. Наука. Технология. Бизнес. – Выпуск 6. – 2001 г. – стр. 5–7.
3. Lark-Horowitz, K. Nucleon-Bombarded Semiconductors / Semiconductors Materials (Proc. Conf. Reading, 1951). – Butterworth, London. – 1951. – P. 47–69.
4. Tanenbaum, M., Mills A.D. Preparation of Uniform Resistivity N-type Silicon by Nuclear Transmutation / Electrochemical Society. – 1961. – Vol. 108. – No. 2. – P. 171–176.
5. Schnoller, M.S. Breakdown Behavior of Rectifiers and Thyristors Made from Striation-Free Silicon / IEEE Transaction on Electron Devices. – 1974. – Vol. 21. – No. 5. – P. 313–314.
6. Heydorn, K., Andresen K. Neutron Transmutation Doping of Silicon at Risø National Laboratory / International Atomic Energy Agency, Silicon Transmutation Doping Techniques and Practices (Proc. IAEA Consultants Mtg, Otwock-Swierk, Poland, 1985, IAEA-TECDOC-456). – Vienna, 1988. – P. 17.
7. Crick, N.V. Silicon Irradiations at the Harwell Laboratory of the United Kingdom Atomic Energy Authority / International Atomic Energy Agency, Silicon Transmutation Doping Techniques and Practices (Proc. IAEA Consultants Mtg, Otwock-Swierk, Poland, 1985, IAEA-TECDOC-456). – Vienna, 1988. – P. 65.
8. Gunn, S.L., Meese J.M., Alger D.M. High Precision Irradiation Techniques for NTD Silicon at the University of Missouri Reactor / Neutron Transmutation Doping in Semiconductors. (Proc. 2nd Int. Conf. Columbia, Missouri, 1978) / Ed. by Meese J.M. – New York: Plenum Press, 1979. – P. 197.
9. Kusunoki, T., Magome H., Takeuchi M., Komeda M., Kobayashi S., Yamashita K. Present Status of Production of Neutron-Transmutation-Doped Silicon in JRR-3 and JRR-4 / Proc. 6th Int. Conf. on Isotopes. – Seoul, 2008. – P. 125.
10. Колин, Н.Г. Ядерное легирование и радиационное модифицирование полупроводников: состояние и перспективы / Известия вузов. Физика. – 2003. – Т. 46. – № 6. – С. 12–20.
11. Sultan, M., Elsherbiny E., Sobhy M. A Method for Neutron Transmutation Doping of Silicon in Research Reactors / Ann. Nucl. Energy. – 1995. – Vol. 22. – No. 5. – P. 303.
12. Lin, X., Henkelmann R., Turler A., Gerstenberg H., De Corte F. Neutron Flux Parameters at Irradiation Positions in the New Research Reactor FRM II / NIM in Physics Research A 564. – 2006. – P. 641–644.
13. <https://www.frm2.tum.de/en/industry-medicine/silicon-doping/>
14. Neutron Transmutation Doping of Silicon at Research Reactors. / International Atomic Energy Agency: Vienna. - IAEA-TECDOC series, ISSN 1011-4289. – № 1681 (2012).
15. Carter, Jr., M. Brady, D. Malta, D.Henshall, S. Muller, V. Tsvetkov, R. Glass, D. Hobgood and A. Powell. Current Status of Large Diameter, Low Defect SiC Boule Growth, Future Electron Device Journal VOL. 11 № 2 (2000), p. 7–10.
16. Джелепов, Б.С. Пекер Л.К. Схемы распада радиоактивных ядер. / И. «Наука». – 1966.
17. Kwestarz, M. Jabłoński J., Sveigard T., Hindrichsen C., Jensen L. Nitrogen impact on vacancy aggregation in silicon single crystals. Pdf / 25th RD50 Workshop, – Cern Geneva. – 2014, 19–21 Nov.
18. Kawamura, H., et al. : “Status of International Cooperation in Nuclear Technology on Testing/Research Reactors between JAEA and INP-NNC”. – JAEA-Review 2011-042 (2011).
19. Japanese Industrial Standards Committee: “JIS H 0602:1995, Testing method of resistivity for silicon crystals and silicon wafers with four-point probe”.
20. Романова, Н.К., Takemoto N. Определение флюенса нейтронов с использованием флюенс мониторов при облучениях в облучательном канале реактора ВВР-К. / Материалы 10-ой Международной конференции «Взаимодействие излучений с твёрдым телом» (IRS-2013), – Минск Республика Беларусь, 24–27 сентября 2013, – с. 371–373.
21. Романова, Н.К., Гизатулин Ш.Х., Мартышов А.Л., Накипов Д.А., Чакров П.В., Takemoto N., Kimura N., Saito T., Tsuchiya K. Исследование возможности трансмутационного легирования кремния на реакторе ВВР-К. / Материалы 11-ой Международной конференции «Взаимодействие излучений с твёрдым телом» (IRS-2015), – Минск Республика Беларусь, 23–25 сентября 2015, – с.147–148.
22. Takemoto, N., Romanova N., Kimura N., Gizatuln Sh., Saito T., Martyushov A., Nakipov D., Tsuchiya K. and Chakrov P. Irradiation Test with Silicon for NTD-Si Irradiation Technology / JAEA-Technology 2015-021. – 2015, 3 June.

## ЗЕРТТЕУ РЕАКТОРЛАРЫНДА КРЕМНИЙДІ НЕЙТРОНДЫ-ТРАНСМУТАЦИЯЛЫҚ ҚОСПАЛАУДЫ ШОЛУ

Н.К. Романова, А.А. Шаймерденов, Ш.Х. Гизатулин, Д.А. Накипов, П.В. Чакров, Е.А. Кенжин

*Энергетика министрлігінің «Ядролық физика институты» РМК, Алматы, Қазақстан*

Мақалада зерттеу ядролық реакторларында кремнийді қоспалау бойынша нейтронды-трансмутациялық технологиялар дамуының заманауи деңгейіне шолу келтірілген. Әлемдік жартылай өткізгіштік өнеркәсіп нарығы дамуының негізгі үрдістері қарастырылды. АЭХА дерекқорына сәйкес, 240 зерттеу реакторының 24-і кремнийді нейтронды-трансмутациялық қоспалаумен (НТК) айналысып, жұмыс істеп жатыр [1]. Кремнийді НТК әдісі олармен жылу нейтрондарын қармау кезінде кремний изотопының ядролық түрленуіне негізделген. Ядролық реакторда жылу нейтрондар ағынымен кремний құймаларын сәулелендіруде  $Si^{30}(n,\gamma)Si^{31} \rightarrow P^{31} + \beta$

ядролық реакциясы нәтижесінде 31-фосфордың қоспаланған қоспасында ядролар пайда болады. Шапшаң нейтрондар радиациялық ақауларды қалыптастыра отырып, кремнийдің кристалл торын бұзады, сондықтан сәулелену аймағында нейтрондар спектрін максималды термолиздеу қажет. Кремний құймаларын сәулелендіруді екі режимнің бірінде жүргізуге болады: статикалық немесе динамикалық. НТҚ әдісі басқа әдістерді қолдануға қарағанда, біртекті қоспалауды алуға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, мақалада ССР-Қ зерттеу реакторында кремнийді НТҚ технологиясын пысықтау бойынша жүргізілген зерттеулердің нәтижелері келтірілген.

## REVIEW OF MODERN STATES OF THE SILICON NEUTRON-TRANSMUTATION TECHNOLOGIES USED IN RESEARCH NUCLEAR REACTORS

**N. Romanova, A. Shaimerdenov, Sh. Gizatuln, D. Nakipov, P. Chakrov, Y. Kenzhin**

*Institute of Nuclear Physics under the Ministry of Energy, Almaty, Kazakhstan*

The article presents a review of modern states of the silicon neutron transmutation technologies used in research nuclear reactors. Main trends in evolution of the world market of semiconductor industry products are considered. Following the IAEA database, 24 research reactors among 240 operating ones are involved in neutron transmutation doping (NTD) of silicon [1]. The technique of silicon NTD is based on nuclear transformation of silicon isotope when it captures thermal neutron. As a result of nuclear reaction  $\text{Si}^{30}(n,\gamma)\text{Si}^{31}\rightarrow\text{P}^{31}+\beta$ , in a silicon ingot, irradiated by thermal neutrons in nuclear reactor, nuclei of phosphorus-31, served as doping, are generated. Fast neutrons destroy silicon crystalline lattice, forming radiation defects; so the neutron spectrum in irradiation space must be thermalized to the highest possible extent. Silicon ingots can be irradiated either at static mode or at dynamic one. The NTD technique provide the best homogeneity of doping, compared to other techniques. Also the article presents results of performed studies on adaptation of the silicon NTD technique to the WWR-K research reactor.

УДК 621.039.531

**РЕЛАКСАЦИЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В РЕАКТОРНЫХ СТАЛЯХ ПРИ РАДИАЦИОННОМ ИЛИ МЕХАНИКО-ТЕРМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**<sup>1,2)</sup> Максимкин О.П., <sup>1)</sup> Яровчук А.В.<sup>1)</sup> РГП «Институт ядерной физики» Министерства энергетики РК, Алматы, Казахстан<sup>2)</sup> Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

Рассмотрены результаты экспериментов по изучению проявления различных видов релаксации внутренних напряжений в металлических поликристаллах. Особое внимание обращено на релаксационные процессы, протекающие в реакторной стали 12X18H10T при нейтронном облучении малыми флюенсами.

**ВВЕДЕНИЕ**

Аустенитные нержавеющие стали нашли широкое применение при конструировании узлов ядерных реакторов на быстрых нейтронах. Опыт, накопленный за длительное время эксплуатации этих реакторных материалов, свидетельствует о том, что в результате интенсивного нейтронного воздействия существенно изменяются структура и свойства сталей, а в кристаллической решетке накапливаются и эволюционируют радиационные дефекты, с которыми связаны внутренние напряжения. В то же время и до облучения, когда стали подвергаются предварительной штатной термообработке, – аустенизации (нагрев до 1050 °С 30 мин и охлаждение) или термомеханической обработке (ТМО: нагрев до 800 °С 1 час + деформация 20 %) в материале возникают термомеханические напряжения. В общем случае при проведении материаловедческих исследований необходимо учитывать внутренние напряжения, образующиеся и релаксирующие по достижению температуры и последующего механического испытания.

Таким образом, одним из основных последствий термического, радиационного и механического воздействия на кристаллические твердые тела является формирование полей внутренних напряжений и их релаксация, оказывающие определяющее влияние на структуру и эксплуатационные свойства конструкционных материалов. Релаксация напряжений в упруго искаженных участках кристаллической решетки осуществляется, как правило, в результате перемещения дислокаций, протекания диффузионных, или, напротив, бездиффузионных (типа мартенситных) превращений, а также процессов микроразрушения. Это обстоятельство выдвигает эффекты образования и накопления напряжений, а также их релаксации в практически важную проблему, исследование которой является актуальной для радиационного материаловедения.

Настоящая работа выполнена с целью получения новых результатов, способствующих решению обозначенной проблемы.

**ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР**

Принято считать, что есть несколько основных способов релаксации внутренних напряжений: механический (ползучесть), термический (отжиги или

«естественное» старение-вылеживание при 20 °С) и радиационный (облучение ускоренными элементарными частицами). Если локальные участки кристаллической решетки с высокими внутренними напряжениями достаточно велики (более 1-10 мкм), то напряжения в них могут быть значительно снижены вследствие релаксационных процессов, обусловленных отжигом, вторичной пластической деформацией или длительным «естественным» старением. В то же время, для небольших напряженных областей образца, (размерами менее 0,1 мкм), основным релаксационным процессом может быть зарождение в решетке несплошностей (поры).

Ранее было установлено [1], что после длительного «естественного старения» ( $\approx 10$  лет,  $T = 20$  °С) пределы текучести ( $\sigma_T$ ) и прочности ( $\sigma_B$ ), облученных нейтронами стальных образцов (12X18H10T), как правило, уменьшаются.

При исследовании закономерностей релаксационных изменений свойств аустенитной ( $\gamma$ ) стали 12X18H10T нами проведено сравнительное изучение двух различных эффектов дополнительного увеличения намагниченности в экспериментах по термическому и механическому снятию напряжений в стальных образцах. В результате было установлено, что при отжиге в районе температуры 400 °С холоднодеформированных или облученных нейтронами стальных образцов наблюдаются эффекты возрастания намагниченности ( $M_f$ ) и микротвердости ( $H_{\mu}$ ), обусловленные, в основном, увеличением количества ферромагнитной, более прочной (чем  $\gamma$ ),  $\alpha$ -фазы, образующейся в результате мартенситного  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения, индуцированного деформацией. (рис.1а).

Эффект увеличения  $M_f$  в процессе отжигов наблюдали в следующих случаях:

а) при отжиге необлученных образцов стали 12X18H10T, предварительно деформированных при низких ( $-100, -140$  °С) температурах [2];

б) при отжиге облученных нейтронами (ВВР-К,  $E > 0,1$  МэВ,  $10^{19}$  н/см<sup>2</sup>) стальных образцов, деформированных при сравнительно небольших отрицательных ( $-20, -60$  °С) температурах [3];

в) после деформации при комнатной температуре и отжига стальных образцов, облученных нейтро-

нами до высоких повреждающих доз (56 сна, БН-350) [4].

При этом оказалось, что пик дополнительного прироста  $M_f$ , как правило, сопровождался ростом микротвердости, электросопротивления, тепловыделения, а также изменением размеров образца.

Эффект роста намагниченности  $\Delta M_f$ , связанный с образованием так называемого «упругого мартенсита» [5], наблюдали при разгрузке пластически деформированных образцов метастабильной стали, растянутых до момента образования в них шейки (рисунок 1б). Показано, что величина  $\Delta M_f$  зависит от степени растяжения  $\varepsilon$  (и, соответственно, от  $\sigma$ ): чем больше  $\varepsilon$  (при напряжениях, больших чем  $\sigma_b$ ), тем меньше прирост намагниченности.

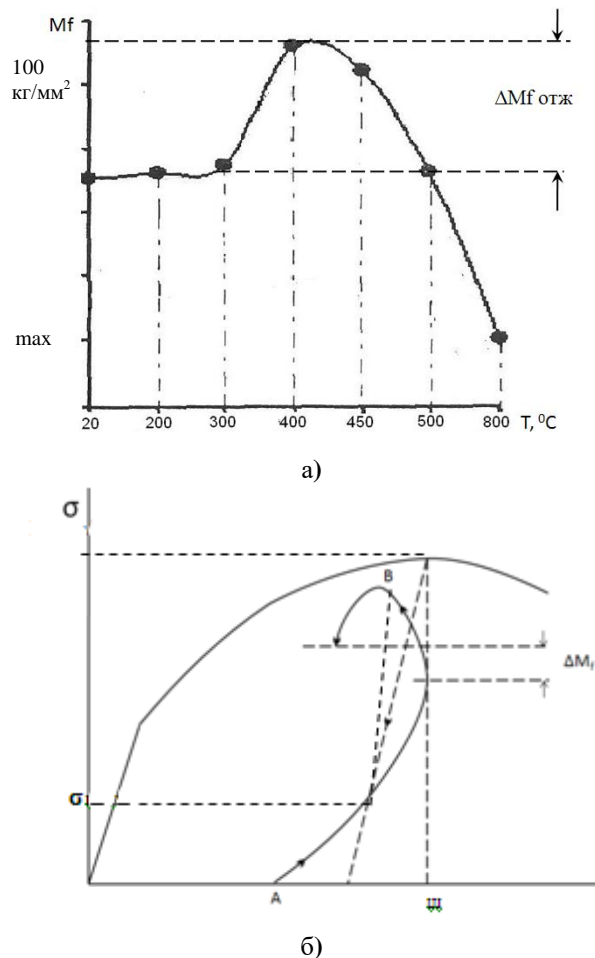


Рисунок 1. Изменение содержания ферромагнитной фазы в стальном деформированном образце при отжиге (а) и при снятии нагрузки (б)

**Механизмы образования термоструктурных напряжений.** Под термоструктурными подразумеваются напряжения (II рода), возникающие в микроструктуре при изменении температуры тела. Рассматривают две основные причины появления термоструктурных напряжений. Первая – градиент температуры. В теории упругости однородных сплошных тел эта причина является единственной, если тело не

содержит внутренних источников тепла. Для неоднородных поликристаллических тел существует вторая причина: при отсутствии внутренних источников тепла – различные значения коэффициентов линейного теплового расширения фаз.

Как известно, изначальное (перед облучением) напряженное состояние реакторных хромоникелевых сталей зависит от температуры и времени аустенизации и характеризуется величиной предела текучести ( $\sigma_{0,2}$ ): чем выше температура аустенизации, тем меньше  $\sigma_{0,2}$ . Например, сталь 12X18H10T, подвергнутая стандартной термообработке (нагрев до 1050 °С, выдержка 30 минут и охлаждение в воду), имеет сравнительно низкий предел текучести  $\sim 25 \text{ кг/мм}^2$ . В то же время в случае нагрева до температуры  $T_{\text{ауст}}=600 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\sigma_{0,2}=120 \text{ кг/мм}^2$ . Можно утверждать, что в результате термической операции: (нагрев до  $T_{\text{ауст}}$  и затем резкое охлаждение до 20 °С) зерна сжимаются, а в приграничных областях возникают растягивающие напряжения, связанные с анизотропией тепловых свойств стали.

**Радиационная релаксация напряжений.** Наряду с механическим и термическим способами релаксации в литературе известен радиационный способ релаксации внутренних напряжений. [6,7] Если в ходе облучения, например, быстрыми нейтронами вследствие образования избыточной плотности вакансий внутри термически сжатых кристаллов возникают растягивающие напряжения, то вблизи границы между зернами формируются сжимающие напряжения. В случае последующих механических испытаний «на растяжение» в приграничных областях поликристаллов в результате ранее проведенных операций аустенизации и облучения напряжения растяжения и сжатия компенсируют друг друга и общий уровень внутренних напряжений уменьшается. Этот эффект релаксации наблюдается только при небольших флюенсах нейтронов (до  $10^{18} \text{ н/см}^2$ ), а затем (вследствие роста уровня повреждаемости решетки) внутренние напряжения будут нарастать, что приведет к регистрации эффекта радиационного упрочнения поликристалла.

Явление радиационной релаксации напряжений наблюдалось, например, в работе [8], где описан экспериментальный результат уменьшения твердости и предела текучести углеродистой стали Ст 45 при облучении нейтронами (рисунок 2).

Из рисунка 2 следует, что при флюенсах нейтронного облучения от  $10^{16}$  до  $10^{18} \text{ н/см}^2$  наблюдается некоторое разупрочнение термообработанного металлического материала, выражающееся в снижении его износостойкости. Высказано предположение, что снижение твердости закаленной стали 45 в результате низкодозного нейтронного облучения вызывается, в основном, интенсификацией диффузионных процессов. Интересно отметить, что (как было экспериментально показано в [8]) если облучать сталь только быстрыми нейтронами, эффект ра-



зупрочнения не наблюдается. В тоже время тепловые нейтроны не вызывают смещение атомов, однако их прохождение через вещество способствует повышению флуктуаций атомов, что, как и при нагреве, ведет к некоторому разупрочнению материала вследствие релаксации напряжений.

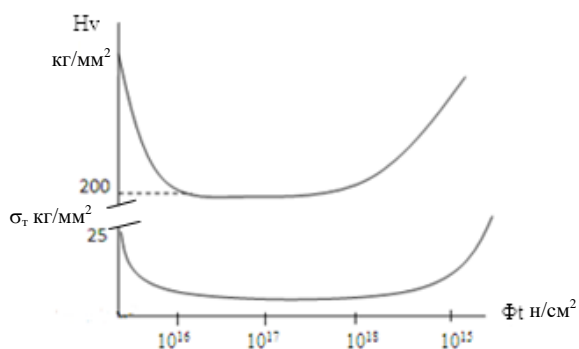


Рисунок 2. Дозовые зависимости микротвердости и предела текучести стали Ст 45, облученной нейтронами [7]

В работе [9] показано, что одним из возможных эффективных способов релаксации растягивающих напряжений, возникающих в зернах аустенитных сталей под облучением, наряду с радиационной ползучестью является бездиффузионное фазовое  $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращение, протекающее с поглощением избыточной концентрации радиационных вакансий. Выведена формула для расчета концентрации вакансий, необходимой для реализации фазового  $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения:

$$C_{v\gamma \rightarrow \alpha} = \frac{W_v}{W_\mu - W_\gamma} + 1,$$

где  $W_v$  – объем вакансий;  $W_\mu$  – объем атома в мартенсите;  $W_\gamma$  – объем атома в аустените.

Аналогичной точки зрения придерживаются авторы статьи [10] в которой подчеркивается, что само мартенситное превращение при низких температурах испытания, увеличивая пластичность материала и уменьшая внутренние напряжения способствует протеканию релаксационных процессов и даже облегчает их.

Таким образом, если в кристаллической решетке мало вакансий, то образующиеся в кристалле напряжения – это напряжения сжатия, если же под облучением зарождается и сохраняется много вакансий, то формируются напряжения растяжения (при этом параметр решетки уменьшается). Релаксационными возможностями обладает также мартенситное  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращение, что способствует снятию локальных напряжений, повышая пластичность кристалла и предотвращая тем самым зарождение и распространение трещин.

В настоящей работе предпринята попытка показать, что природа явлений, лежащих в основе опи-

санных выше эффектов изменения магнитных свойств и разупрочнения, одинакова и связана с уменьшением внутренних напряжений сжатия, образующихся в деформируемом или облучаемом металлическом материале.

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследовали аустенитные хромоникелевые коррозионно-стойкие стали 12X18H10T и AISI 316, предварительная термообработка которых заключалась в нагреве до 1050 °С, выдержке 30 минут и охлаждении в воду. Гантелеподобные образцы имели рабочую длину 10 мм и диаметр 1,8 мм. Аустенизированные стальные образцы облучали нейтронами ( $T_{обл} \approx 80$  °С) в активной зоне исследовательского ядерного реактора ВВР-К до различных флюенсов (не более  $1 \cdot 10^{18}$  н/см<sup>2</sup>).

Микроструктуру рабочей поверхности исследуемых облученных и деформированных стальных образцов изучали с помощью оптического микроскопа Neophot-2 после предварительной механической и электролитической полировки металла. Травление образцов производили в уксусно-хромовой реактиве, состоящем из 133 мл ледяной уксусной кислоты, 25 г хромового ангидрида и 7 мл воды. Режим электроотравления следующий: плотность тока 0,1 А/см<sup>2</sup>, температура 17 °С. Механические испытания «на растяжение» выполняли на испытательной машине Инстрон 1195 при комнатной температуре со скоростью 0,5мм/мин. Непосредственно в ходе деформации определяли количество ферромагнитной  $\alpha$ -фазы путем сканирования различных участков поверхности образца с помощью феррозонда «Ферстер 1053».

С целью изучения тепловых эффектов в ходе пластического течения была собрана установка на базе дифференциального микрокалориметра Кальве, позволяющая регистрировать выделяемое (поглощаемое) при деформации тепло (Q) и определять величину энергии, затрачиваемую на деформирование ( $A_p = \int \sigma d\varepsilon$ ) и запасаемую деформируемыми материалами в виде дефектов кристаллического строения ( $E_s = A - Q$ ), а также относительную латентную энергию ( $P = E_s/A$ ). [11,12]

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из примеров термической релаксации внутренних закалочных напряжений могут служить следующие результаты калориметрических экспериментов. Исследовали необлученные образцы стали 12X18H10T, которые аустенизировали при температуре 1050 °С 30 мин. Затем часть образцов охлаждали (закаляли) в воду, а другую – охлаждали до комнатной температуры медленно, вместе с печью. Термообработанные образцы деформировали при 18 °С ( $V=0,5$ мм/мин) в ячейке микрокалориметра. Подробно калориметрические эксперименты и обработка данных с целью нахождения не только характери-

стик прочности ( $\sigma_{0,2}$  – предел текучести,  $\sigma_b$  – предел прочности,  $\delta$  – равномерная относительная деформация,  $\delta$  – общая относительная деформация), но и энергетических характеристик  $Q$ ,  $A$ ,  $E_s$ , описаны в [13, 14]. Полученные результаты приведены на рисунках 3 и 4 и в таблице 1.

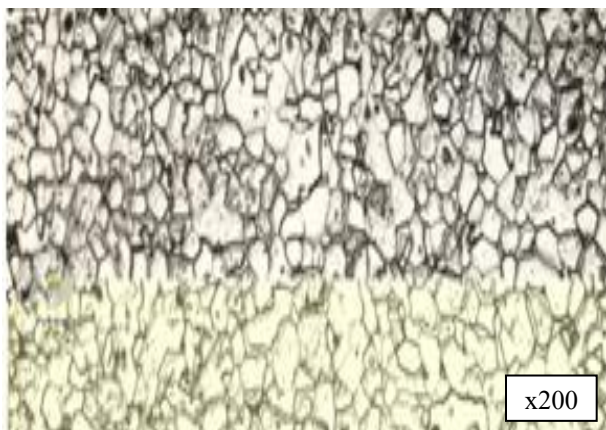


Рисунок 3. Структура стали 12X18H10T после аустенизации (1050 °С, 30 мин)

Из таблицы 1 следует, что сразу после закалки (режим 1) материал оказался внутренне напряженным, о чем свидетельствует относительно высокое значение предела текучести ( $\sigma_{0,2} = 22 \text{ кг/мм}^2$ ), в то время как для медленно охлажденного образца (режим 2)  $\sigma_{0,2} = 18 \text{ кг/мм}^2$ , т.е. в данном случае имеет место термическая релаксация внутренних напряжений. При этом способность запасать подведенную извне энергию у закаленного материала меньше, чем у охлажденного с печью. Одним из возможных объяснений полученных результатов является следующее. В случае резкого охлаждения в воду с высокой температуры вследствие анизотропного сжатия кристаллов в приграничных зонах возникают области, где преобладают напряжения растяжения, в которых в процессе последующей деформации растяжением при напряжении  $67,5 \text{ кг/мм}^2$  начинается  $\gamma \rightarrow \alpha$  переход. В тоже время если охлаждать образец медленно с температуры  $1050 \text{ }^\circ\text{C}$ , то внутренние остаточные

напряжения не будут столь велики, как в предыдущем случае и для начала зарождения  $\alpha$ -фазы необходимо приложить извне большее напряжение ( $\sigma_{кр} = 72 \text{ кг/мм}^2$ ), чем в случае с закаленным материалом.

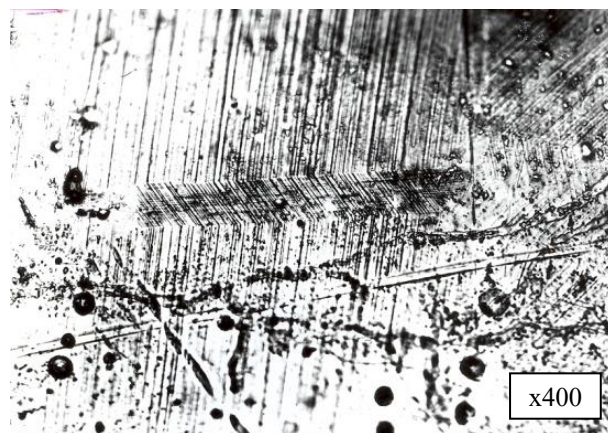


Рисунок 4. Микроструктура и микрорельеф в деформированном образце стали 12X18H10T в области мартенситной пластины

Примером радиационной релаксации внутренних напряжений могут служить результаты экспериментов по статическому деформированию со скоростью растяжения  $0,5 \text{ мм/мин}$  при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  образцов стали 12X18H10T, приведенные в таблице 2.

Из таблицы 2 следует, что в стальных аустенизированных деформируемых образцах в результате нейтронного облучения малыми дозами (от  $1,1 \cdot 10^{17}$  до  $1 \cdot 10^{18} \text{ н/см}^2$ ) мартенситный  $\gamma \rightarrow \alpha$  переход начинается при меньших значениях критических напряжений ( $\sigma_{кр}$ ), чем в необлученных. Возможное объяснение этого эффекта заключается в том, что после аустенизации, когда матрица зерна «сжимается», в приграничных областях зерна преобладают напряжения растяжения. Облучение малыми дозами усиливает эти напряжения и в итоге требуется приложить извне меньшее напряжение растяжения, чтобы началось  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращение. Значительное увеличение степени облучения ( $1 \cdot 10^{18} \text{ н/см}^2$ ) упрочняет матрицу и фазовый переход затрудняется.

Таблица 1 Влияние параметров термообработки на механические и энергетические характеристики стали 12X18H10T

Режим	Состояние стали	$\sigma_{0,2}$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\sigma_b$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_p$ , %	$\delta$ , %	$\sigma_{\text{кр}}^{\gamma \rightarrow \alpha}$ , кг/мм <sup>2</sup>	Aр, Дж	Q, Дж	E <sub>s</sub> , Дж	P, %
1	Аустенизация (1050 °С, 30 мин), закалка в воду	21,6	69,1	48	49	67,5	2,6	2,4	0,18	6,8
2	Аустенизация, охлаждение с печью	18,1	68,2	62	63	72	3,8	3,2	0,6	16,3

Таблица 2. Влияние флюенса нейтронного облучения на предел текучести и критическое напряжение начала  $\gamma \rightarrow \alpha$  перехода в стали 12X18H10T при деформации

Напряжение	Доза							
	Необл.	$1 \cdot 10^{16} \text{ н/см}^2$	$1 \cdot 10^{17} \text{ н/см}^2$	$1,1 \cdot 10^{17} \text{ н/см}^2$	$2,5 \cdot 10^{17} \text{ н/см}^2$	$5 \cdot 10^{17} \text{ н/см}^2$	$1 \cdot 10^{18} \text{ н/см}^2$	
$\sigma_{0,2} \text{ кг/мм}^2$	26,7	18	24,9	25,0	25,3	26,7	28	
$\sigma_{кр} \text{ кг/мм}^2$	67		62	56,3	55,1	54,9	61,0	

Более наглядно эффект радиационной релаксации выглядит при рассмотрении дозовой зависимости плотности механической работы, необходимой для начала фазового  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения в холоднотемпературной облученной нейтронами стали 12X18H10T которая представлена на рисунке 5 в полулогарифмическом масштабе.

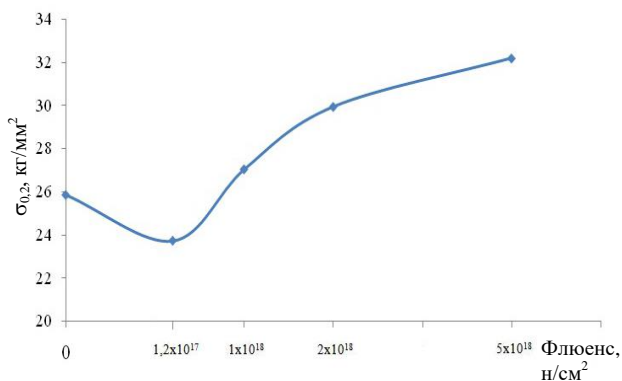


Рисунок 5. Дозовое изменение механической работы, ( $A_{кр}$ ), затрачиваемой на пластическое формоизменение облученных нейтронами образцов аустенитной стали 12X18H10T, до начала образования в них мартенситной  $\alpha$ -фазы

Важно отметить, что аналогичную представленной на рисунке 5 зависимость величины механической работы  $A_p$ , необходимой для разрушения образца стали AISI 316 SS, от дозы нейтронного облучения, можно получить, если обработать экспериментальные кривые « $\sigma$ - $\epsilon$ », приведенные в работе [15].

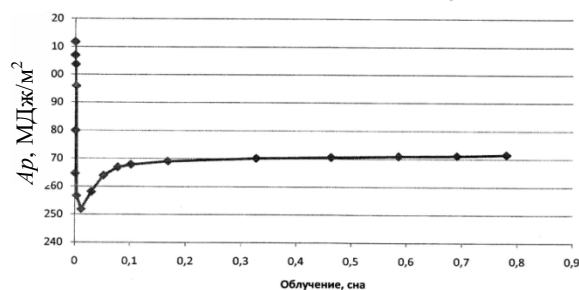


Рисунок 6. Дозовая зависимость плотности механической работы ( $A_p$ ), необходимой для разрушения облученного нейтронами образца стали AISI 316 SS

Из рисунка 6 видно, что при некоторых, сравнительно небольших значениях повреждающих доз ( $0,0001$  сна или  $1 \cdot 10^{17}$  н/см<sup>2</sup>), на кривой дозовой зависимости работы имеется минимум, предположительно связанный с радиационной релаксацией внутренних напряжений, после которого регистрируется упрочнение материала, вызванное нейтронным облучением стали, и что требует дополнительных затрат энергии для разрушения образца.

Еще одним важным фактором влияния малых доз нейтронов на свойства метастабильной стали является их воздействие на кинетику мартенситного  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения на этапах равномерной и локали-

зованной деформации. Так, обращает на себя внимание тот факт, что кинетические кривые образования и накопления индуцированной деформацией  $\alpha$ -фазы для облученной небольшим ( $5 \cdot 10^{17}$  н/см<sup>2</sup>) флюенсом нейтронов стали лежат ниже, чем для необлученной (рисунок 7). В результате интегральное количество ферромагнитной мартенситной  $\alpha$ -фазы к концу растяжения в необлученной аустенизированной стали было больше, чем в облученной. Отметим, что ранее [16] для больших флюенсов нейтронов ( $10^{18}$ – $10^{20}$  н/см<sup>2</sup>) получали обратную картину:  $\gamma \rightarrow \alpha$  переход в облученной стали 12X18H10T начинался при меньших деформациях и протекал более интенсивно.

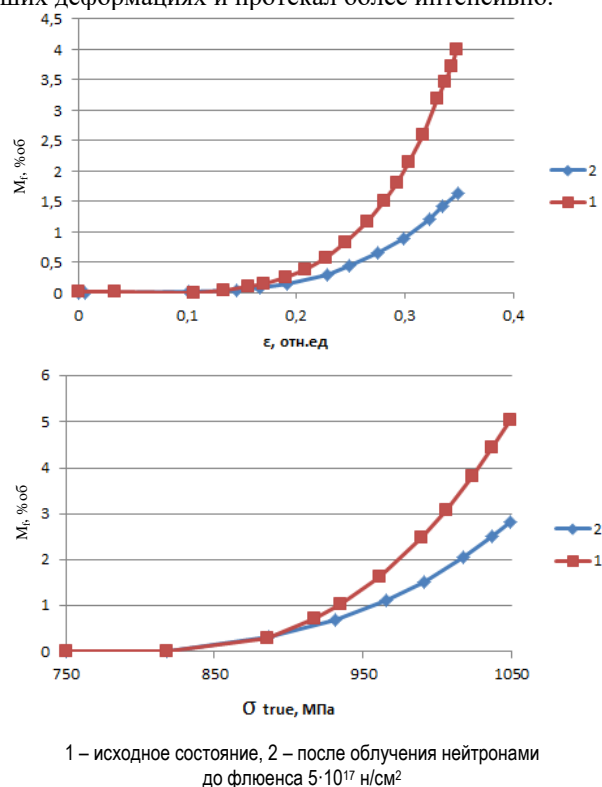


Рисунок 7. Кривые образования мартенситной  $\alpha$ -фазы в зависимости от степени деформации (а) и «истинных» напряжений при испытаниях на статическое растяжение образцов стали AISI 321 (1050 °С, 30 мин)

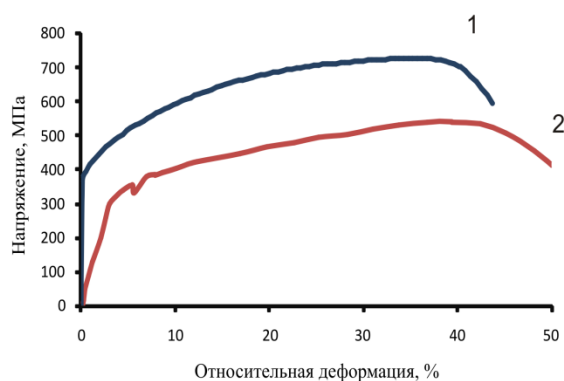
#### РЕЛАКСАЦИЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТАЛИ 12X18H10T В РЕЗУЛЬТАТЕ ТЦО

Известно, что в результате термоциклической обработки (ТЦО) происходят изменения структурно-фазового состояния и свойств сталей. Так, в работах [17–19] сообщается о частичном возврате механических свойств облученных нейтронами конструкционных материалов после многократной ТЦО в интервале температур, в среднем больших, чем температура облучения.

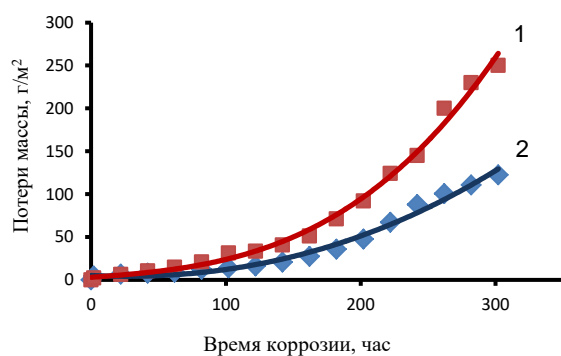
Нами проведены исследования изменений механических характеристик и коррозионной стойкости нержавеющей конструкционной стали 12X18H10T, находящейся в состояниях: аустенизированном (отжиг в вакууме при 1050 °С в течение 30 мин. с за-

калкой в воду) и аустенизированном, облученном нейтронами до флюенса  $5 \cdot 10^{18}$  н/см<sup>2</sup> (ВВР-К, температура облучения <100 °С) после термоциклической обработки в диапазоне 300...20 °С при 10 циклах. Термоциклирование осуществляли в электрической печи сопротивления, выдерживая образцы в атмосфере аргона в течение двух часов при 300 °С с последующим охлаждением до комнатной температуры (один цикл).

На рисунке 8 приведены диаграммы растяжения и кривые зависимостей потерь массы облученной нейтронами стали 12X18Н10Т от времени выдержки в 5 %-м растворе FeCl<sub>3</sub>.



а)



б)

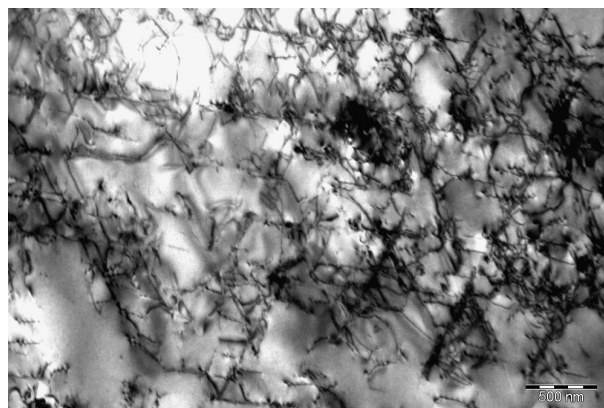
Рисунок 8. Кривые деформационного упрочнения в координатах «условное напряжение– деформация» (а) и кривые изменения потерь массы в зависимости от времени коррозии стали 12X18Н10Т в состояниях: 1– облученное нейтронами, 2 – облученное нейтронами + ТЦО

Из рисунка 8 видно, что термоциклирование в диапазоне 20↔300 °С (т.е. при температурах выше температуры облучения) позволяет в значительной степени модифицировать механические свойства облученной стали 12X18Н10Т. Так, предел текучести облученной стали в результате ТЦО снизился на 16 %, предел прочности – на 23 %, тогда как пластичность возросла на 30 %. Наряду с тем из рисунка 8 б следует, что ТЦО повысило стойкость облученной стали к питтинговой коррозии. Величина потерь

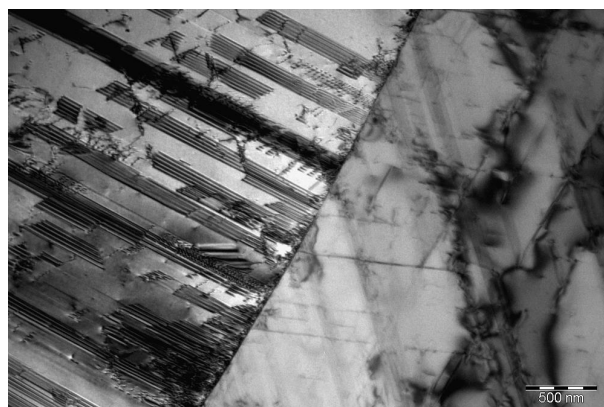
массы стального облученного образца в результате выдержки в растворе хлорного железа (300 часов) оказалась практически в два раза больше, чем образца после облучения и ТЦО обработки.

С помощью ПЭМ-методики установлено, что в результате ТЦО плотность дислокаций в облученной стали снизилась до  $(1.5 \pm 4) \cdot 10^{10}$  см<sup>-2</sup>, а субструктура эволюционировала так, что в отдельных участках образца наблюдались дислокации типа «лес» и однородная сетчатая дислокационная структура, дополняемая множественными дефектами упаковки (рисунок 9 а). Встречались также участки, свободные от дислокаций, но с двойниковыми или мартенситными образованиями (рис. 9 б). В матрице кристаллита обнаружены также мелкие выделения глобулярной формы с повышенным содержанием титана, которые, представляют собой карбид титана (TiC), с размером частиц не более 15 нм.

Такая перестройка дислокационной субструктуры, вероятнее всего, связана с релаксацией внутренних напряжений и явилась основной причиной одновременного снижения прочностных характеристик, увеличения пластичности облученной стали и улучшения антикоррозионных свойств [20].



а)



б)

Рисунок 9. Субструктура стали 12X18Н10 после облучения нейтронами (а); после облучения и ТЦО 20–300 °С, 10 циклов (б)

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщены и проанализированы результаты по изучению процессов релаксации внутренних напряжений в экспериментах по отжигам, пластическому деформированию и облучению стальных образцов.

Установлено влияние параметров термообработки на механические и энергетические характеристики стали 12X18H10T.

Показано, что при облучении малыми дозами нейтронов ( $5 \cdot 10^{16} - 1 \cdot 10^{18}$  н/см<sup>2</sup>) уменьшаются значения предела текучести, критического напряжения начала мартенситного перехода и плотности меха-

нической работы, необходимой для разрушения образцов сталей 12X18H10T и AISI 316 SS. Важным фактором влияния малых доз нейтронов на свойства метастабильной реакторной стали является также их воздействие на кинетику мартенситного  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения на этапах равномерной и локализованной деформации.

Наряду с отжигом, пластической деформацией и облучением малыми дозами нейтронов большую роль в формировании релаксационных процессов играет циклическая термообработка.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Tsay K.V., Rofman O.V., Maksimkin O.P. The natural aging of austenitic stainless steels irradiated with fast neutrons // Journal of Nuclear Materials. – 2018. – v.499. – P. 284–293.
2. Рубан С.В., Максимкин О.П., Рыбин С.В. Аномальный эффект изменения магнитных и механических свойств облученной нейтронами нержавеющей стали 12X18H10T при отжиге 400 °С. // Вестник НЯЦ РК. – 2011. – вып. 3. – С. 98–101.
3. Рубан С.В., Максимкин О.П., Турубарова Л.Г. Влияние облучения нейтронами и отрицательных температур испытания на механические свойства и фазовое превращение в стали X18H9 // Вестник НЯЦ. – 2016. – №4. – С.18–23.
4. Максимкин О.П., Мережко М.С., Рубан С.В., Рахашев Б.К. Некоторые особенности обратного мартенситного  $\alpha' \rightarrow \gamma$ -превращения в стали 12X18H10T, облученной до высоких повреждающих доз в быстром реакторе БН-350. // Вестник НЯЦ РК. – 2011. – вып. 2. – С. 109–115.
5. Максимкин О.П., Цай К.В. Магнитометрическое исследование особенностей мартенситного  $\gamma \rightarrow \alpha'$  превращения в облученной нейтронами стали 12X18H10T // Металлы. – 2008. – №5. – С. 39–47.
6. Афанасьев В.Д., Рофман Ю.И., Корнилов С.П., Скуратов В.А. и др. Радиационная релаксация напряжений в алюминии в процессе облучения высокоэнергетическими тяжелыми ионами // Материалы совещания, Дубна. – 1986. – С. 88–95.
7. Власов Н.М., Драгунов Ю.Г. Релаксация остаточных напряжений при нейтронном облучении материала. Обзорные прикладной и промышленной математики. – 2012. – т.13. – вып.2. – С.3.
8. Марковский Е.А., Краснощеклов М.М., Переверзев Д.Д. Антифрикционные свойства облученных сплавов / М. Атомиздат. – 1978. – С.68.
9. Лаптев И.Н., Пархоменко А.А. О возможности образования мартенсита в аустенитных нержавеющих сталях под облучением // ВАНТ. Серия: физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. – 2002. – № 4 (82). – С.143–145.
10. Малинов Л.С. и др. Влияние мартенсита деформации на свойства сталей Fe-Cr-Mn // Металлы, известия АН СССР. – 1988. – № 2. – С.82–87.
11. Болотов А.В., Ибрагимов Ш.Ш., Максимкин О.П. Выделение и накопление энергии в процессе растяжения облученной нейтронами стали 12X18H10T // Атомная энергия. – 1989. – № 2. – С. 3–5.
12. Максимкин О.П., Астафьев И. В., Уткелбаев Б. Накопление энергии и изменение микроструктуры в процессе деформации стали 12X18H10T. // Металлофизика. – 1991. – т.13. – № 10. – С. 36–40.
13. Максимкин О.П., Астафьев И. В. Восстановление калориметрических термограмм в экспериментах по изучению тепловыделения и запаса энергии при деформировании. // Зав. лаб. – 1994. – № 1. – С. 4–46.
14. Максимкин О.П., Астафьев И.В. Калориметрическое изучение мартенситного  $\gamma \rightarrow \alpha'$ -превращения при деформации облученной стали 12X18H10T. // ФММ. – 1994. – т.77. – № 3. – С. 166–168.
15. Kim J.W., Vyun T.S. / Journal of Nuclear Materials. – 2010. – v. 396. – P.10–19.
16. Максимкин О.П., Ибрагимов Ш.Ш., Садвакасов Д.Х. Мартенситное  $\gamma \rightarrow \alpha'$ -превращение и механические свойства стали 12X18H10T, облученной нейтронами. // ФММ. – 1990. – № 7. – С.199–201.
17. Биронт В. С., Крушенко Г.Г. Влияние термической и термоциклической обработки на структуру и свойства мартенситно-старееющей стали. // J. Siberian Federal University, Engineering. Technologies. – 2008. – № 3. – P. 247–255.
18. Беляева Л.А., Малыгин Г.А., Рыбин В.В. Механизм восстановления механических свойств облученных нейтронами металлов при термоциклировании // Физика твердого тела. – 2006. – т.48. – вып. 3. – С. 443–449.
19. Давиденков Н.Н., Лихачев В.А. Необратимое формоизменение металлов при циклическом тепловом воздействии. // Машгиз, Л. – 1962. – 223 С.
20. Яровчук А.В., Максимкин О.П., Цай К.В. Влияние малоциклового термоциклической обработки на коррозионные и механические свойства облученной нейтронами коррозионно-стойкой стали 12X18H10T // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2017. – № 7 (745). – С.49–56.

**МЕХАНИКАЛЫҚ-ТЕРМИКАЛЫҚ НЕМЕСЕ РАДИАЦИАНЫҢ ӘСЕРІНЕН  
РЕАКТОРЛЫҚ БОЛАТТАРДЫҢ ІШКІ КЕРНЕУЛЕРІНІҢ РЕЛАКСАЦИЯСЫ**

<sup>1,2)</sup> О.П. Максимкин, <sup>1)</sup> А.В. Яровчук

<sup>1)</sup> *Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан*

<sup>2)</sup> *«МИФИ» ұлттық ядролық зерттеу университеті, Мәскеу, Ресей*

Металл поликристалдардағы ішкі кернеулердің әртүрлі релаксациясының көрінісін зерттеу бойынша эксперименттердің нәтижелері қарастырылады. Төмен флюенсті нейтронды сәулелену кезінде 12X18H10T реакторлық болаттан пайда болатын релаксациялық процестерге ерекше көңіл бөлінеді.

**RELAXATION OF INTERNAL STRESSES IN REACTOR STEELS  
IN RADIATION OR MECHANICAL-THERMAL IMPACT**

<sup>1,2)</sup> O.P. Maksimkin, <sup>1)</sup> A.V. Yarovchuk

<sup>1)</sup> *Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan*

<sup>2)</sup> *National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia*

The results of experiments on the study of the manifestation of various types of relaxation of internal stresses in metallic polycrystals are considered. Particular attention is paid to the relaxation processes taking place in the reactor steel 12Cr18Ni10T under neutron irradiation with small fluences.

УДК 621.039.9

**ВОЗМОЖНОСТЬ ДИСТАНЦИОННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕИЗВЕСТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ЯДЕРНОГО МАТЕРИАЛА, КАК ИНСТРУМЕНТА ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ИХ НЕЗАКОННОМУ ОБОРОТУ**

Горин Н.В., Корнеев А.А., Пачурин Д.В., Стародумова И.Г., Липилина Е.Н., Чуриков Ю.И., Шмаков Д.В.

*Российский Федеральный ядерный центр Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики им. академика Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия*

Продемонстрирована возможность создания инструмента противодействия незаконному обороту ядерных материалов для правоохранительных органов и международных организаций в виде способа дистанционной идентификации деталей, подозреваемых в содержании ядерного материала, когда оперативная доставка в идентификационный центр затруднена. Основа способа – база данных с информацией обо всех изготовленных в стране деталях из ядерного материала. При этом, идентификация проводится не с реальной деталью, а с ее цифровой моделью. Модель детали может создаваться либо путем 3D-сканирования непосредственно на месте обнаружения с последующей передачей по электронным каналам связи в центр идентификации, либо в самом центре с использованием цифровых фотографий детали с места обнаружения. Показано, что деталь можно идентифицировать по результатам анализа формы, конструктивных особенностей и размеров ее цифровой модели. Показан алгоритм действий эксперта при дистанционной идентификации неизвестной детали.

*Ключевые слова:* противодействие незаконному обороту ядерных материалов, цифровая фотография, макет, идентификация.

**ВВЕДЕНИЕ**

При задержании неизвестного ядерного материала (ЯМ) для пресечения дальнейших противоправных действий необходима его идентификация с целью определения предназначения, мест производства и эксплуатации. Как только это выполнено, то становятся понятными дальнейшие шаги по противодействию незаконному обороту. В настоящее время ядерная криминалистика (nuclear forensics) направлена на идентификацию материала, а не детали, и ее основная цель заключается в измерениях спектров, изотопного и элементного состава, обогащения, плотности. Однако, если идентифицировать деталь, а не материал, то из паспортных данных незамедлительно станут известны все перечисленные выше характеристики материала и дополнительно станет известен завод-изготовитель и эксплуатирующее предприятие, что может быть полезно правоохранительным органам.

Для помощи экспертам при идентификации детали предложено создать базу данных по характеристикам всех деталей ЯМ, с помощью которой возможно идентифицировать неизвестные детали. Создание ее оболочки и системы поиска проблем не вызывает. Так, например, аналогичная база по топливным деталям нескольких исследовательских реакторов уже создана в РФЯЦ-ВНИИТФ [1–3] и на ее основе предложена система тренинга экспертов [4], во ВНИИМ создана база данных по топливу энергетических реакторов. Гораздо сложнее наполнить ее информацией обо всех деталях ЯМ, так как таких деталей много. Это достаточно трудоемкий процесс, связанный с работой в архивах нескольких предприятий и заводов, выпускающих ЯМ, с отбором, сканированием и оцифровкой чертежной документации, паспортов и пр. В последние годы вся констру-

кторская документация выпускается только в компьютерном виде, так что уже имеется определенный задел, но, тем не менее, процесс наполнения базы данных информацией будет достаточно продолжительным, а без этого идентификация техническими способами либо невозможна, либо возможна только случайно, когда кто-либо из экспертов угадает неизвестную задержанную деталь.

База данных для сравнительного анализа должна содержать размеры форм (тел и полостей), из которых образована каждая деталь, материал, его обогащение и плотность, элементный состав, легирующие добавки и примеси. Проведя измерения с неизвестной деталью, эксперт сравнивает свои результаты с величинами в одноименных полях в базе данных по каждой детали ЯМ. При их совпадении считается, что неизвестная деталь идентифицирована, и эксперт получает доступ к информации о местах ее изготовления и эксплуатации, паспортам и трехмерным моделям. На первом этапе достаточно проанализировать совокупность форм и их размеров, т.е. провести идентификацию «по внешнему виду». В случае неопределенности возможны более сложные измерения следующих величин: плотности, обогащения, элементного и изотопного состава.

Вряд ли оправдано хранение большого объема чувствительной информации в одном месте, скорее всего, целесообразно распределить ее по научным центрам и предприятиям-изготовителям деталей из ЯМ. Создание такой базы данных необходимо не только для задач противодействия, не менее важно использование ее в качестве концентратора знаний и систематизатора сведений о деталях из ЯМ (как оборонного, так и гражданского назначения) для информационных, справочных и учебных целей, она может рассматриваться как «компьютерный экс-

перт» в ряде задач обращения с ЯМ. Не следует рассчитывать на помощь специалистов в месте задержания детали, следует планировать выезд на место задержания эксперта идентификационного центра с необходимым оборудованием.

При работе с базой данных пользователи могут преследовать разные цели и использовать её, прежде всего, как библиотеку, где собраны и сохранены первоисточники – чертежи, изображения и паспорта деталей ЯМ. Число пользователей будет небольшим, но, тем не менее, они должны иметь разные права доступа к чувствительной информации.

#### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Один из возможных сценариев развития событий, при котором потребуется идентификация, может выглядеть следующим образом – в результате оперативных мероприятий правоохранными или таможенными органами обнаружен груз с деталью, являющейся источником гамма-излучения. Уровень излучения достаточен для предположения, что деталь изготовлена из радиоактивного или ядерного материала. Вызванные на место специалисты аварийно-технического центра оценили радиационную обстановку и упаковали деталь в подходящий контейнер, обеспечив требования норм безопасности. Немедленные оперативные мероприятия правоохранных органов не позволили быстро установить ни безответственного отправителя (скорее всего, злоумышленника), ни владельца груза, ни места производства и эксплуатации, ни места отправки (или хищения) детали. Поэтому необходима идентификация техническими средствами для ответа на вопросы «Что это?», «Чье это?» и «Где изготовлено?».

В [1–4] предложен алгоритм идентификации детали в предположении, что эксперт может проводить с ней ручные измерения. Однако, если деталь задержана в одном регионе России, а центр идентификации находится в другом, то ситуация осложняется. Перевозка детали из ЯМ должна проводиться с соблюдением действующих правил (на спецтранспорте, с сопровождением и охраной, с оформлением документации), что потребует значительных временных затрат и не позволит оперативно провести мероприятия по противодействию незаконному обороту. Ситуация еще сильнее осложняется, если деталь имеет значительный уровень остаточного гамма-излучения и работа с ней должна проводиться в соответствии с действующими правилами безопасности, так что ручные операции будут затруднены или даже невозможны.

В этих условиях становится актуальной немедленная дистанционная идентификация неизвестной детали. Предполагается, что по электронным каналам связи в центр идентификации будет пересылаться либо трехмерная компьютерная модель детали, либо, если в месте задержания нет трехмерного сканера, набор ее цифровых фотографий, снятых в разных ракурсах. Естественно, что дистанционно не-

возможно определить ни элементный, ни изотопный состав материала детали – для этого необходима сама деталь, а оценить плотность можно лишь в случае, когда специалист в месте задержания детали измерит ее вес и объем и передаст результаты в идентификационный центр, причем не следует рассчитывать на хорошую точность измерений. Скорее всего, это будут достаточно грубые оценки. В рамках настоящей работы рассмотрена возможность идентификации по набору цифровых фотографий.

Для демонстрации возможности дистанционной идентификации, например, для обучения экспертов, не нужна реальная деталь ЯМ, демонстрация может быть проведена на ее макете из инертного материала с нанесенными повреждениями, имитирующими последствия незаконного оборота. Чертеж и компьютерную трехмерную модель каждого макета следует ввести в учебную базу данных в предположении, что именно этот макет будет моделировать деталь, попавшую в незаконный оборот, именно ее фрагмент будет задержан правоохранными органами и именно по этому фрагменту придется проводить дистанционную идентификацию.

При идентификации действия эксперта должны быть основаны на том, что все детали из ЯМ были изготовлены на металлообрабатывающих станках, представляли собой совокупность правильных геометрических форм (как сплошных тел, так и полостей) и содержали плоские, цилиндрические, конические или сферические поверхности. Качество обработки поверхностей при изготовлении было высоким, но в процессе противоправных действий и незаконного оборота они могли получить повреждения, и результаты измерений геометрических размеров, скорее всего, могут отличаться от исходных. Однако, совокупность форм целой детали, сам материал, его плотность, элементный и изотопный состав останутся неизменными.

Предложенный сценарий смоделирован в РФЯЦ-ВНИИТФ и рассмотрены возможности дистанционной идентификации на примере макетов деталей ЯМ, когда в лабораторных условиях выполнено фотографирование макета или его фрагмента и по совокупности форм с измеренными размерами проведена идентификация.

#### **МАКЕТЫ ДЕТАЛЕЙ ЯМ**

Для демонстрации возможности дистанционной идентификации были изготовлены на трехмерном принтере из инертного материала три макета разной формы, похожие на твэлы исследовательских реакторов – спирально закрученные стержни разного сечения с разными шагами закрутки, содержащие тела разных геометрических форм, а именно, одна пластина, две перекрещенные пластины и параллелепипед [5–8]. Один из макетов без повреждений, два других – обломки, имитирующие результат незаконного оборота. Для выбранных макетов линейный размер поперечного сечения на два порядка меньше



длины (~1 мм и ~100 мм), в сечении имеются особенности конструкции размерами ~1 мм. Именно мелкие особенности, особенно на крупных деталях, могут содержать важную информацию для идентификации.

Цель проверок – определить, насколько точно фотографии передают облик макета «в целом» и его составных частей (например, различимы ли фаски на хвостовиках), позволяют ли погрешности измерения линейных размеров и шага закрутки идентифицировать макет.

На рисунках 1...4 представлены фотографии выбранных макетов – обломки витых стержней крестового и квадратного сечений и целая витая пластина. Длина целой пластины может быть определена, так как есть уверенность, что ее торцы не повреждены, тогда как длины целых стержней по их обломкам не определяются, и единственный вывод может быть сформулирован как «не менее чем длина обломка». Фотографирование макетов проведено в разных ракурсах, причем для получения наиболее точного и наглядного изображения одной части при съемке с близкого расстояния (например, торца или хвостовика) приходилось жертвовать качеством изображения остальных частей. Поэтому облик каждого макета складывается по нескольким фотографиям. Так, витая конструкция явно просматривается для пластины, так как для нее шаг закрутки меньше длины, просматривается для стержня крестового сечения благодаря особенностям конструкции, и в меньшей степени завивка выражена для обломка стержня квадратного сечения, так для него шаг закрутки заметно больше длины обломка.

На рисунке 1 представлена фотография общего вида стержня крестового сечения с небольшой ретушью и разметкой для оценки величины оборота и линейных размеров. Отсчет размеров проведен с фотографии по шкале линейки. На увеличенном фрагменте фотографии отчетливо просматривается фаска на конце хвостовика, ее размеры могут быть измерены, видны неоднородности поверхности, образовавшиеся при печати на трехмерном принтере. Таким образом, определение длины стержня, длины и диаметра хвостовика трудностей не вызывают.

Для определения шага закрутки на одном из ребер лопасти стержня выбирали области с самой верхней и нижней точками белого цвета относительно края линейки, т.е. отстоящих друг от друга на половине шага закрутки. Эти области ограничены окружностями на рисунке 1. Затем внутри окружностей выбирали пиксели белого цвета с максимальным и минимальным расстояниями по вертикальной оси относительно края линейки. Погрешность определения положения такого пикселя не менее  $\pm 1$  мм. Для определения расстояния между пикселями снимали отсчеты по шкале линейки. Так вычислена половина шага закрутки, полный шаг составляет 150 мм с погрешностью  $\pm 10$  мм.

Более точно шаг закрутки определен для витой пластины (рисунок 2), на длине которой укладываются почти три оборота. На рисунке обозначены три окружности, внутри которых расположены точки с максимальными расстояниями по вертикальной оси относительно края линейки. Расстояние между ними соответствует одному и двум оборотам стержня. Аналогичные операции проведены и для трех других точек, но уже с минимальными расстояниями по вертикальной оси относительно края линейки.

Точно также определены размеры торцов всех трех витых стержней. Предварительно в графическом редакторе изображения были повернуты и ориентированы относительно края линейки (рисунок 3), а затем сняты отсчеты с ее шкалы.

Рисунок 4 демонстрирует, что с использованием даже деревянной линейки можно получать результаты с удовлетворительной точностью. Начало и конец 1/4 оборота фрагмента витого стержня квадратного сечения обозначены на рис.4 окружностями. Погрешность определения их границ оценивается как  $\pm 2$  см.

Материал макетов – пластик белого цвета. Цвет реальной детали из ЯМ будет другим, но тоже однотонным, например, он может определяться цветом покрытия, чехла или самого материала, поэтому спиральная закрутка будет просматриваться, но подробности, например, шаг закрутки, можно будет оценить лишь после анализа и, возможно, ретуширования снимка.

Для оценки линейных размеров на каждой из фотографий показаны линейки, на снимках (рисунки 1...3) наиболее точная металлическая, на рисунке 4 более грубая деревянная. При фотосъемке рядом с макетами располагали калибры – шарики, размеры которых точно известны ( $5,04 \pm 0,01$  и  $2,00 \pm 0,01$  мм) и соизмеримы с размерами конструктивных особенностей макетов (рисунок 3).

Рассмотренный алгоритм определения линейных размеров очевиден и применим для любых деталей, тогда как для определения индивидуальных конструктивных особенностей, аналогичных, например, шагам закрутки, экспертам придется использовать индивидуальные алгоритмы.

Представленные фотографии выполнены цифровой камерой среднего качества с расстояния ~0,5 м, без использования штатива, с ручной наводкой на резкость, со вспышкой и при естественном освещении. Это – реалистичные условия для специалистов в месте задержания, что позволяет рассчитывать на получение цифровых фотографий не худшего качества. Сравнение снимков стержня крестового сечения иллюстрирует возможности минимального ретуширования и удачного ракурса при съемке.

На рисунке 3 на кадрах с торцами стержней при близкой съемке просматриваются искажения – нарушения параллельности штрихов линейки, что необходимо учитывать при обработке.

На рисунке 5 представлены трехмерные модели макетов, построенные с помощью программного комплекса САПР SolidWorks 2015. Чертежи их сечений представлены на рисунке 6. Именно эти чертежи и модели будут храниться в учебной базе данных, именно с ними будут сравниваться формы и размеры, полученные при анализе фотографий маке-

та. Совпадение их сечений показано ниже на рисунке 6, а длина макета подскажет характеристики недостающей части стержня, которая, скорее всего, также находится в незаконном обороте и на поиск которой следует ориентировать правоохранительные органы.



Рисунок 1. Вид макета витого стержня крестового сечения и увеличенное изображение его хвостовика

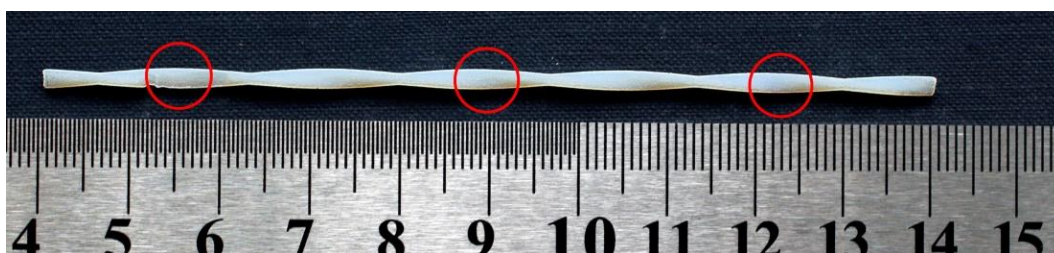


Рисунок 2. Вид макета витой пластины

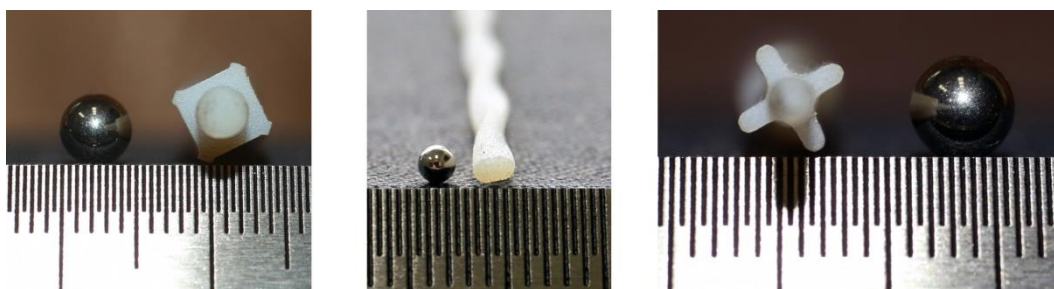


Рисунок 3. Торцы макетов витых стержней



Рисунок 4. Макет витого стержень квадратного сечения с деревянной линейкой



Рисунок 5. Трехмерные модели макетов

Сравнение изображений на рисунках 1–5 показывает, что трехмерные изображения и цифровые фотографии правильно передают особенности конструкции даже для макетов достаточно сложных форм с мелкими (~1 мм) особенностями, которые на два порядка меньше других размеров и позволяют с приемлемыми погрешностями оценивать их размеры.

Опыт обработки цифровых фотографий позволяет определить особенности фотографирования макетов:

- необходимы несколько снимков общего вида макета и характерных особенностей его конструкции, снятых в разных ракурсах и масштабах;

- необходимо учитывать искажения размеров и пропорций по размеру кадра при съемке с близкого расстояния. При фотосъемке желательно располагать рядом с макетом калибры, размеры которых точно известны и соизмеримы с размерами либо макета, либо его конструктивных особенностей. Таким калибрами могут быть шарики, диаметр которых может быть предварительно измерен микрометром с погрешностью ~0,01 мм, преимуществом выбора шариков является возможность визуально оценить искажение пропорций в конкретном ракурсе по искажению их формы;

- необходима схема взаимного расположения макета и фотокамеры при съемке, определяющая точку съемки.

#### УЧЕБНАЯ БАЗА ДАННЫХ

Для демонстрации возможностей и отработки алгоритмов дистанционной идентификации подготовлена учебная база данных для сравнительного анализа по всем используемым макетам. Ее принцип построения [1] может быть использован для построения базы данных о реальных деталях из ЯМ как для дистанционной идентификации, так и для ручных операций с деталью.

В базу введена информация о нескольких макетах (в дальнейшем о нескольких тысячах деталей из ЯМ в одном научном центре РФ), в которой, для каждого макета, среди прочего, перечислены все простые геометрические формы (цилиндры, параллелепипеды, призмы, конусы, шары, витые стержни), входящие в его состав. Учтено, что каждая форма может быть либо телом, либо полостью. Так, например, форма «цилиндр с резьбой» в виде тела – это болт, а в виде полости – гайка. В учебную базу введена только совокупность форм с соответствующими размерами, но не их взаиморасположение, т.е. не предусмотрена индивидуальная конфигурация каждого макета. Для небольшого количества макетов сделать это довольно просто, но для тысяч разных деталей такая работа не имеет смысла. Представляется, что достаточно описать относительно небольшое число присутствующих в конструкции всех форм (тел и полостей). По совокупности форм предполагается в дальнейшем проводить идентифика-

цию, иначе говоря, проводить идентификацию «по внешнему виду».

Предложенный подход к созданию базы без учета взаиморасположения и привязки форм друг к другу существенно упрощает ее построение и заполнение информацией, но не исключает, что при поиске будут обнаружены несколько разных деталей с перечисленными формами, но другим взаиморасположением. Следует учитывать, что детали из ЯМ имеют «простую и разумную форму» (хотя строгое определение этого термина вряд ли возможно), именно такие формы будут у макетов деталей, тела разной формы обязательно примыкают друг к другу, а не только касаются, так как рассматривается единая деталь. Полости должны полностью находиться внутри тела или проходить насквозь через несколько тел и, по крайней мере, один линейный размер полости должен полностью вписываться в тело, обычно в конструкции реализованы элементы симметрии и поэтому не следует ожидать большого числа деталей с разным взаиморасположением форм.

Так, например, использованный в настоящей работе витой стержень крестообразного сечения (рисунок 1) образован из двух перекрещенных лопастей–параллелепипедов (два тела), двух хвостовиков–цилиндров (два тела) с двумя фасками–конусами (два тела), которые все вместе закручены в спираль, полостей деталь не имеет. Можно представить один из немногих вариантов взаимного расположения этих тел с осевой симметрией – спирально закрученный уголок, который можно признать «простой и, может быть, разумной формы». Большинство остальных вариантов без симметрии такому условию не удовлетворяют хотя бы потому, что их невозможно изготовить на металлообрабатывающих станках и их не должно быть в базе данных с реальными деталями ЯМ.

Таким образом, в результате поиска в учебной базе будет найдена либо один макет, удовлетворяющий выбранным критериям, либо их будет немного. Окончательный выбор сделает эксперт после анализа чертежей и трехмерных моделей.

Очевидно, что порошок, раствор, плав, газ или стружка (мелкие обрезки) стабильных форм и линейных размеров не имеют, и для их идентификации требуются другие методы.

При формировании базы данных по деталям из ЯМ на заводе-изготовителе и/или на эксплуатирующем предприятии заполняют информационные поля. Те же самые информационные поля заполняет эксперт при формировании запроса на идентификацию неизвестной детали.

#### АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Эксперт анализирует изображения макета в разных ракурсах на фотографиях, формирует мысленный исходный облик неповрежденного макета, определяет количество и типы геометрических тел и

полостей, из которых состоит фрагмент или состоял целый макет. В запросе он выбирает, отмечает и заполняет соответствующие поля по результатам осмотра, измерений размеров и оценки погрешностей.

Процедура идентификации заключается в сравнении полей запроса с одноименными полями для каждого из макетов базы данных. Если численные величины с учетом погрешностей измерений совпадают, то считается, что макет идентифицирован по форме и размерам. При идентификации детали из ЯМ, выполненной аналогичным способом, эксперт получит результат идентификации – паспорт детали, ее чертежи и перечень всех признаков для идентификации, описание штатной упаковки, массу, плотность, обогащение и реквизиты предприятия-изготовителя и эксплуатирующего предприятия, количество точно таких же деталей, выпущенных предприятием-изготовителем. Как следствие, вся эта информация позволит идентифицировать ядерный материал.

Фрагмент может не иметь некоторых изначальных поверхностей или форм, поэтому возможно лишь частичное совпадение, но и результат частичной идентификации также выводится эксперту, который принимает решение о дальнейших действиях, например, решает повторно провести измерения. Однако если целый макет или его фрагмент имеют большее число поверхностей и размеров, чем у макета в базе данных, то результаты идентификации будут неопределенными, но и они так же выводятся эксперту для информации.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПО ЦИФРОВЫМ ФОТОГРАФИЯМ

По фотографиям на рисунках 1...4 с удовлетворительной погрешностью можно определить линейные размеры макетов и их частей. Для этого рядом с макетом расположена линейка и при оценке разме-

ров можно пренебрегать нелинейными искажениями при фотосъемке, так как они одинаковы как для макета, так и для линейки. Погрешность отсчета показаний по изображению шкалы линейки не превышает  $\sim 0,5$  мм, вряд ли возможно добиться погрешности лучше  $\sim 0,1 \dots 0,2$  мм. Никакой другой способ измерений кроме рядом расположенной линейки не подходит из-за невозможности ручных операций, но он приемлем, так как сравнение измеренных и хранящихся в одноименных полях базы данных размеров проводится с учетом погрешностей. При фотографировании каждый стержень располагали параллельно линейке, погрешности видны на фотографиях и при необходимости они могут быть учтены. Отчетливо видны на снимках границы целой пластины и обломков стержней.

На фотографиях на рисунках 1...4 видно, что все три макета деталей спирально закручены, но шаг закрутки стержня оценивается грубее, так как определение по фотографии доли оборота (четверть, половина или полный оборот) выполняется с погрешностью  $\sim 10 \dots 15$  мм. Гораздо точнее шаг определяется, если на длине стержня (или на его фрагменте) поместился, по крайней мере, один полный оборот. Так, на макете витой пластины видны три оборота, поэтому шаг определяется с погрешностью в несколько мм, а на макете фрагмента витого стержня квадратного сечения сохранилась только часть оборота и, как следствие, погрешность выше  $\sim 10$  мм. Поэтому для определения шага закрутки желательно небольшое ретуширование снимка для оценки величины оборота.

На рисунке 6 представлены чертежи торцов каждого из стержней и их фотографии. Каждая пара «чертеж – фотография» выполнена в одинаковом масштабе и позволяет оценить, насколько фотография совпадают с чертежом.

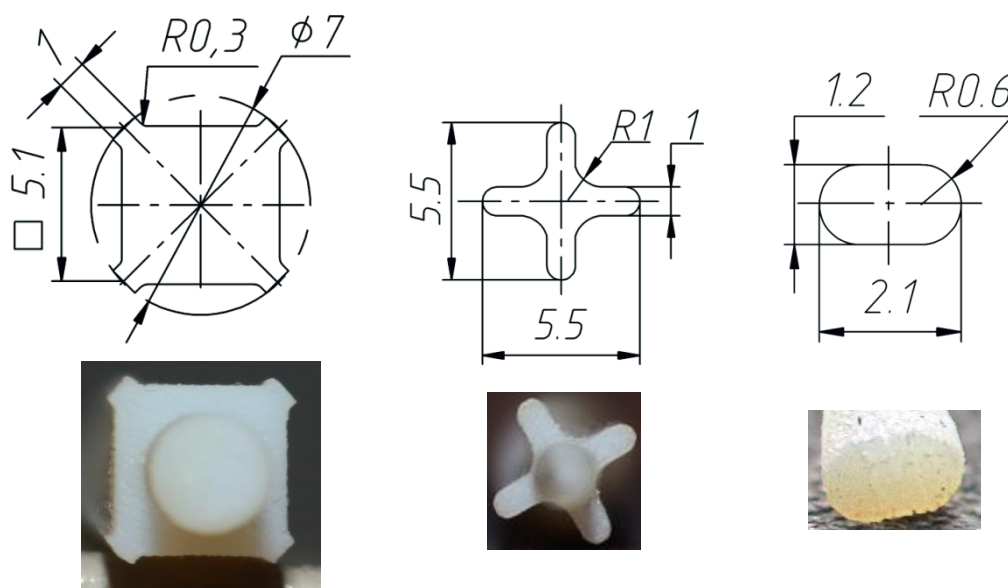


Рисунок 6. Чертежи сечений торцов макетов и их цифровые фотографии

**ВОЗМОЖНОСТЬ ДИСТАНЦИОННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕИЗВЕСТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ЯДЕРНОГО МАТЕРИАЛА,  
КАК ИНСТРУМЕНТА ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ИХ НЕЗАКОННОМУ ОБОРОТУ**

*Таблица 1. Результаты измерений характерных размеров макетов по цифровым фотографиям.  
Приведены оценки погрешностей измерений.*

Параметр макета		Витой стержень крестообразного сечения	Витой стержень квадратного сечения	Витая пластина
Полная длина витого стержня, мм	по чертежу	150	160	100
	по фотографии	151±0,5	160±0,5	100±0,5
Толщина лопасти, мм	по чертежу	1,0	–	1,2
	по фотографии	1,0±0,2	–	1,2±0,2
Ширина лопасти, мм	по чертежу	5,5	–	2,1
	по фотографии	5,5±0,2	–	2,1±0,2
Сечение, мм	по чертежу	5,5×1,0	5,1×5,1	2,1×1,2
	по фотографии	5,5×1,0±0,2	5,1×5,1±0,2	2,1×1,2±0,2
Шаг закрутки, мм	по чертежу	150	600	35
	по фотографии	150±10	600±80	35±2
Хвостовик, мм	по чертежу	∅=2, L=10	∅=3,2, L=10	–
	по фотографии	∅=2, L=10±0,2	∅=3,2, L=10±0,2	–
Фаска хвостовика, (мм, град.)	по чертежу	фаска 0,8×45°	фаска 0,5×45°	–
	по фотографии	0,8×45°±0,1	0,5×45°±0,1	–

**ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ**

Общий облик макета и его форма достаточно точно определяется по цифровым фотографиям, они демонстрируют возможности передачи небольших особенностей конструкции размерами ~1 мм. В таблице 1 представлены результаты измерений характерных размеров выбранных макетов, т.е. по сути дела представлен результат идентификации. Основное внимание уделено мелким особенностям конструкции на торцах стержней, оценка длины стержней трудностей не вызывает (например, рисунки 1...4).

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, на трех макетах разных форм, для которых один из размеров на два порядка отличается от другого, с мелкими особенностями конструкции продемонстрирована работоспособность дистанционной идентификации по набору цифровых фотографий. Показано, что набор из нескольких

цифровых фотографий, снятых в нужных ракурсах, передают общий облик макета детали. Проведена индивидуальная обработка фотографий, т.е. моделирование действий эксперта в идентификационном центре. Погрешность оценки линейных размеров мелких частей по трехмерным фотографиям заведомо не хуже ~0,5 мм. Предложен алгоритм действий эксперта при идентификации. Предложены принципы построения базы данных по деталям ЯМ. Предложенная база данных с системой идентификации может рассматриваться как прототип компьютерного эксперта при идентификации неизвестных деталей ядерного материала.

*Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить специалистов РФЯЦ-ВНИИТФ И.В. Шмакова и С.В. Кузнецову за изготовление макетов деталей и их цифровых фотографий.*

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Горин Н.В., Корнеев А.А., Липилина Е.Н., Чуриков Ю.И., Архангельский Н.В. База данных по исследовательским реакторам как инструмент противодействия незаконному обороту ядерных материалов // Вестник НЯЦ РК, 2013, вып. 1(53), стр. 94–102.
2. Горин Н.В., Чуриков Ю.И., Щербина А.Н., Бобылев А.И., Ровный С.И., Архангельский Н.В., Комков О.В., Павшук В.А., Вурим А.Д., Гайдайчук В.А. Идентификация топливных деталей исследовательских реакторов // Атомная энергия, 2007, т. 102, вып. 4, с. 233–237.
3. Горин Н.В., Чуриков Ю.И., Корнеев А.А., Волошин Н.П., Архангельский Н.В., Простаков В.И., Дикарев В.С., Павшук В.А., Абалин С.С., Шведов О.В., Дерявко И.И., Колбаенков А.Н. Возможности идентификации твэлов/ТВС исследовательских реакторов СССР и США первого поколения // Атомная энергия, 2012, т. 113, вып. 4, с. 218–222.
4. Горин Н.В., Волошин Н.П., Корнеев А.А., Липилина Е.Н., Стародумова И.Г., Простаков В.И., Чуриков Ю.И., Шмаков Д.В., Скаков М.К., Чернядьев В.В. Система тренинга экспертов по идентификации неизвестных топливных деталей исследовательских реакторов, как инструмент противодействия незаконному обороту ядерных материалов // Вестник НЯЦ РК, 2016, вып. 3(67), с.23–29.
5. Агеенков В.И., Волков В.С., Солонин М.И. и др. Параметры и технология изготовления твэлов реактора ПИК // Атомная энергия, 2002, т. 92, вып. 6.
6. Коноплев К.А., Самсонов В.М., Федоров В.В. Строящийся реактор ПИК. Перспективы ввода в эксплуатацию // Доклад на конференции «Ядерная энергетика в Республике Казахстан» г. Курчатов, 11–13 июня 2008 г.
7. Бакланов В.В., Гныря В.С., Горин Н.В., Дерявко И.И., Кенжин Е.А., Колбаенков А.Н., Павшук В.А., Тухватулин Ш.Т., Черепнин Ю.С., Чернядьев В.В. Идентификация цирконий-урановых твэлов исследовательского реактора ИВГ.1М // Вестник НЯЦ РК, 2011, выпуск 2(46), стр.91–97.
8. Андреев Д.В., Куликов С.Н., Павшук В.А., Чечуров А.М. Импульсный растворный реактор «Гидра» и результаты реакторных испытаний твэлов // Доклад на конференции «Ядерная энергетика в Республике Казахстан» г. Курчатов, 11–13 июня 2008 г.

## ЯДРОЛЫҚ МАТЕРИАЛДЫҢ БЕЛГІСІЗ БӨЛШЕКТЕРІН ОЛАРДЫҢ ЗАҢСЫЗ АЙНАЛЫМЫНА ҚАРСЫ ТҰРУ ҚҰРАЛЫ РЕТІНДЕ ҚАШЫҚТЫҚТАН СӘЙКЕСТЕНДІРУ МҮМКІНДІГІ

Н.В. Горин, А.А. Корнеев, Д.В. Пачурин, И.Г. Стародумова, Е.Н. Липилина, Ю.И. Чуриков, Д.В. Шмаков

*Ресей Федерациясының ядролық орталығы – Е.И. Заббахин атындағы  
Бүкілресейлік техникалық физика ғылыми-зерттеу институты, Снежинск, Ресей*

Құқық қорғау органдары мен халықаралық ұйымдар үшін құрамында ядролық материал болуы мүмкін бөлшектерді сәйкестендіру орталығына жедел жеткізу қиын болған жағдайда қашықтықтан сәйкестендіру тәсілі түрінде ядролық материалдардың заңсыз айналымына қарсы тұру құралын жасау мүмкіндігі көрсетілді. Бұл тәсілдің негізі – елдегі ядролық материалдан жасалған барлық бұйымдар туралы ақпаратты қамтитын деректер базасы. Бұл ретте сәйкестендіру бөлшектің өзімен емес, оның цифрлық моделімен жүргізіледі. Бөлшектің моделін анықталған жерінде 3D-сканерлеу және соңынан электрондық байланыс арналары арқылы сәйкестендіру орталығына жіберу жолымен, не болмаса анықталған жерден түсірілген бөлшектің цифрлық фотосуреттерін пайдалану арқылы орталықтың өзінде жасауға болады. Бөлшекті оның цифрлық моделінің пішінін, конструкциялық ерекшеліктерін және өлшемдерін талдау нәтижелері бойынша сәйкестендіруге болатындығы көрсетілген. Сарапшының белгісіз бөлшекті қашықтықтан сәйкестендіру кезіндегі іс-қимыл алгоритмі көрсетілген.

*Кілт сөздер:* ядролық материалдардың заңсыз айналымына қарсы тұру, цифрлық фотосурет, макет, сәйкестендіру.

## FEASIBILITY OF REMOTE NUCLEAR MATERIAL IDENTIFICATION AS AN ILLICIT-NUCLEAR-TRAFFICKING COUNTERMEASURE

N.V. Gorin, A.A. Korneev, D.V. Pachurin, I.G. Starodumova, E.N.Lipilina, Yu.I. Churikov, D.V. Shmakov

*Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin All-Russia Research Institute of Technical Physics Snezhinsk, Russia*

An illicit-nuclear-material-trafficking countermeasure for law enforcement bodies and international organizations is demonstrated to be feasible in the form of remote identification of parts suspected to comprise a nuclear material when their transportation to any identification center is problematic.

This identification method will use the database containing information on all nuclear material parts manufactured in the country. We will identify the digital model of an unknown part rather than the real part itself. The digital model of the part can be prepared either with the help of 3D-scanning directly in the place of this part detection with the follow-on transmission of images via electronic communication channels to an identification center, or in the identification center proper using digital photos of a part from the place of its detection. So, analysis of the shape, specific features, and sizes of the digital model will enable identification of an unknown part. Algorithm of remote identification operations by an expert is presented.

*Key words:* nuclear materials interdiction, 3D model, identification.

УДК 550.34.064

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА РМСС ДЛЯ АНАЛИЗА ВОЛНОВОЙ КАРТИНЫ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Дубровин В. И., Михайлова Н.Н.

*Институт геофизических исследований. Курчатов, Казахстан*

В докладе отражен анализ зарегистрированных сигналов от двух сильнейших землетрясений – глубокого и корового с эпицентрами в одном регионе на территории Центральной Азии, произошедших в 2015 году с магнитудами  $M_w=7,5$  и  $M_w=7,2$ . Результат исследования позволит расширить представление о взаимодействии фронта сейсмических волн с неоднородностями геологической среды, расположенными на пути распространения различных волн.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящей работе проводится анализ зарегистрированных сигналов от двух сильнейших землетрясений на территории Центральной Азии, произошедших в 2015 году. Особенный интерес представляет собой изучение характеристик сейсмической коды при помощи обработки записей сейсмических групп с оценками направления прихода волн, частотного состава, кажущейся скорости пробега когерентных волн, проходящих через территорию группы. Впервые для анализа было выбрано катастрофическое землетрясение с магнитудой 7,5, очаг которого находился на глубине более 200 км. До этого рассматривались только коровые события Центральной Азии. Для сравнения проведен анализ с расположенным в том же районе землетрясением с очагом в земной коре, магнитуда которого составила 7,2. Поскольку эти события очень сильные, то мы имеем возможность изучить их записи по всем сейсмическим группам Казахстана, а также дополнительно привлечь к анализу записи российской сейсмической группы. Результат исследования позволит расширить представление о взаимодействии фронта сейсмических волн с неоднородностями геологической среды, расположенными на пути их распространения.

### Метод РМСС

Для анализа был выбран метод РМСС – прогрессивный многоканальный корреляционный метод, разработанный во французском национальном центре данных и предоставленный казахстанскому центру данных для использования при работе с инфразвуковыми и сейсмическими данными [1].

Главное достоинство метода заключается в его способности посредством поиска взаимной корреляции между записями отдельных элементов инфразвуковой или сейсмической групп выделять сигналы, регистрируемые не одним, а несколькими элементами этих групп, оценивать азимут на источник и кажущуюся скорость. Кроме того, метод позволяет детектировать сигналы от постоянно действующих источников.

Использование метода РМСС для анализа сейсмических записей новых групп, открытых в Казах-

стане в последнее десятилетие, позволило получить интересные, ранее не известные результаты. Так, еще в 2003 году после происшедшего сильного Алтайского (Чуйского) землетрясения в пограничной области Казахстана и России с магнитудой 7,3 по записям групп Боровое и Каратау было замечено, что спустя некоторое время от начала записи, когда начинает регистрироваться кода Lg-волн, закономерно происходит изменение азимута на источник, определяемый с помощью РМСС [1].

Проявление этого эффекта имело специфические особенности: направление отклонения расчетного по РМСС азимута от истинного значения зависело от станции наблюдения. Впервые было высказано предположение о наличии масштабной глубинной неоднородности в Центральном Казахстане, влияющей на распространение волн в коде Lg.

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В настоящей работе рассматриваются события из района Центральной Азии – Таджикистан и пограничный район с Афганистаном. Намеренно взяты два сильнейших землетрясения, произошедших на разных глубинах в близкое друг от друга время в 2015 году и в одном регионе.

Первое землетрясение произошло в уникальной зоне глубокофокусной сейсмичности в районе Гиндукуша. Этот район является одним из самых высокоактивных сейсмических районов Центральной Азии. Происходящие здесь сильные землетрясения с очагами до 300 км могут ощущаться на огромных расстояниях, охватывающих практически всю Центральную Азию.

26 октября 2015 года здесь произошло сильнейшее землетрясение с  $M_w=7,5$ . Данные об очаге этого землетрясения приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры очага глубокого Гиндукушского землетрясения

Агентство	t0	φ, N	λ, E	H, км	mb	mPV	Mw
NEIC	26.10.2015 09.09.1932	36,463	70,712	231	7,7	7,3	7,5

Второе землетрясение, взятое для анализа, произошло на Памире 7 декабря 2015 г. ( $M_w=7,2$ ) рядом

с Сарезским озером (таджикские ученые называют его Мургабским землетрясением).

Данные об очаге этого землетрясения приведены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры Мургабского землетрясения в Таджикистане

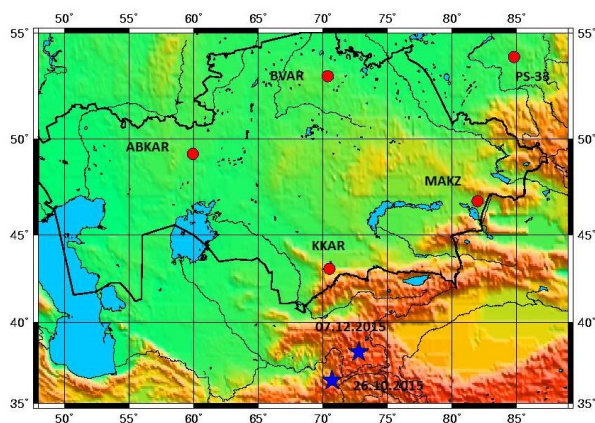
Агентство	t0	φ, N	λ, E	H, км	mPV	Mw
NEIC	07.12.2015 07.50.05	38,211	72,780	22	6,7	7,2

На рисунке 1 представлена карта расположения эпицентров двух изучаемых землетрясений. На ней же показаны пять сейсмических групп, по которым были изучены сейсмические записи этих двух событий. Это четыре казахстанские группы сейсмической сети ИГИ МЭ РК – Акбулак (ABKAR), Боровое (BVAR), Маканчи (MKAR), Каратау (KKAR), а также одна группа российской сети Залесово (PS-33).

Таблица 3. Параметры эпицентральных расстояний и баказимуты от эпицентров событий

	ABKAR		KKAR		MAKZ		BVAR		PS-33	
	Δ, км	Baz	Δ, км	Baz	Δ, км	Baz	Δ, км	Baz	Δ, км	Baz
Глубокое	1668	144	737	178	1480	223	1841	179	2224	215
Коровое	1600	135	576	159	1215	221	1657	172	1971	212

В таблице 3 представлены эпицентральные расстояния от каждой группы до эпицентров событий, а также истинные баказимуты, то есть расчетные азимуты со станции на очаг, определенные от направления на север. По этим событиям представляется хорошая возможность сравнения характеристик волнового поля в зависимости от глубины очага, поскольку расстояния и баказимуты близки между собой.



● – сейсмические группы, ★ – очаги землетрясений

Рисунок 1. Расположение сейсмических групп и очагов исследуемых землетрясений

Из таблицы видно, что самой дальней станцией является станция Залесово, находящаяся на расстояниях 1971 км – 2224 км. А самой близкой к очагам была станция Каратау, расстояния до эпицентров

равны 737 и 576 км. Заметим, что все расстояния являются региональными, и типы сейсмических фаз на всех станциях будут одинаковы.

### РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ

Задачи исследования – 1) сопоставить между собой характеристики сейсмических колебаний от двух землетрясений по одной и той же станции; 2) сопоставить между собой характеристики сейсмических записей при одном и том же событии по разным станциям сети.

Примеры записей двух событий по одной из сейсмических групп – станции Боровое – показаны на рисунках 2, 3.

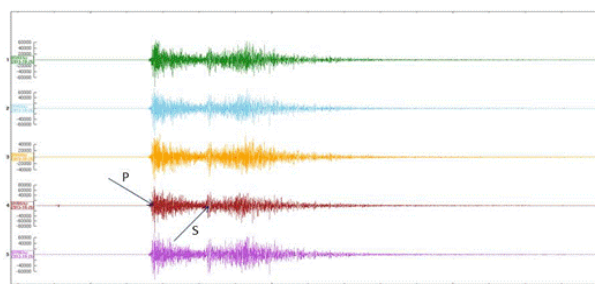


Рисунок 2. Пример записи глубокого события по станции Боровое

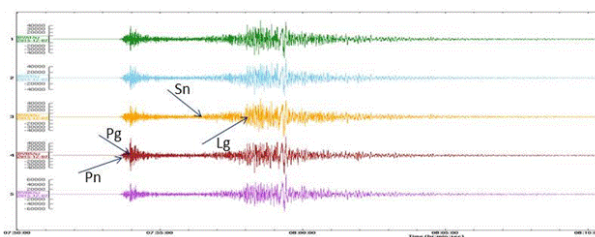


Рисунок 3. Пример записи корового события по станции Боровое

Специфическими особенностями волновой картины записей глубоких землетрясений является наличие в начальной части записи фаз, отвечающих за глубину события rP и sP, отсутствие каналовых волн Lg на региональных расстояниях. В случае глубокого гиндукушского землетрясения 26 октября 2015 г. с Mw=7.5 было выявлено, что очаг был сложным, разрыв произошел в два этапа. Сначала был более слабый толчок с Mw=5,9, а за ним через 10 секунд основной толчок с Mw=7.5. Главными фазами являются фазы P и S-волн.

При коровом землетрясении 7 декабря 2015 г. отмечается другая волновая картина. Имеют место все региональные фазы Pn, Pg, Sn, Lg.

Наш интерес был сосредоточен на анализе не основных региональных фаз, а сейсмической коды волны S у глубокого землетрясения и Lg-волны корового. Ниже рассмотрены результаты анализа по каждой сейсмической группе.



### СТАНЦИЯ ЗАЛЕСОВО

Сейсмическая группа Залесово входит в Международную систему мониторинга (МСМ) организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ОДВЗЯИ). Состоит из девяти сейсмических элементов. Из всех рассматриваемых групп она находится на самом дальнем расстоянии от очагов обоих землетрясений.

С помощью РМСС было проанализировано 30 минут записи землетрясений. Шкала времени показана цветом на рисунках 4, 5.

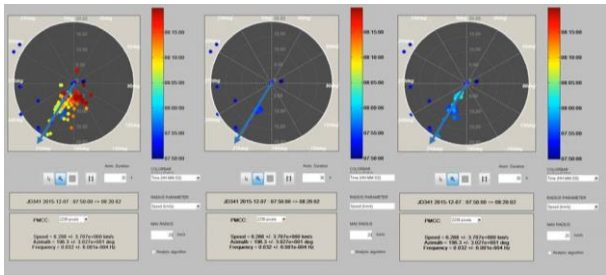


Рисунок 4. Полярные диаграммы по станции Залесово (коровое)

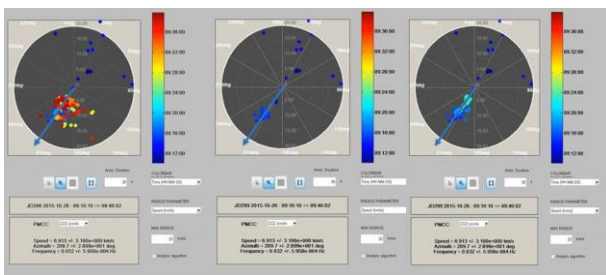


Рисунок 5. Полярные диаграммы по станции Залесово (глубокое)

На полярных диаграммах можно видеть два параметра колебаний – баказимут со станции на источник  $Az$  и кажущаяся скорость  $V$ . Синей стрелкой показано расчетное по РМСС значение баказимута.

РМСС-диаграммы представлены в виде трех фрагментов. Левый фрагмент показывает полную картину детектирований за 30 минут колебаний от момента первого вступления. Средний фрагмент – это начальная часть записи, относящаяся к первым 5 минутам, когда вступают регулярные волны. На правом фрагменте – запись примерно 12 минут. Она включает начальную часть коды.

На рисунке 4 приведены РМСС-диаграммы по коровому землетрясению 07.12.2015 г. Видна четкая дифференция разных сейсмических фаз с разной кажущейся скоростью. Азимут, рассчитанный с помощью РМСС, хорошо совпадает с истинным азимутом на источник вплоть до 20 минут записи, то есть соответствие в азимутах наблюдается для фаз  $P_n$ ,  $P_g$ ,  $L_g$ , поверхностных волн и начальной части коды. Лишь в дальней коде отмечается незначительный уход азимута к востоку.

Близкая картина отмечается и для глубокого землетрясения. Несмотря на то, что природа сейсмических фаз глубокого события другая, чем для корового землетрясения, распределение детектирований очень похоже. Практически весь период 30 минут азимуты детектирований соответствуют азимуту на источник. Можно отметить лишь несколько больший разброс значений у глубокого землетрясения по сравнению с коровым событием.

### СТАНЦИЯ БОРОВОЕ

Для корового землетрясения (рисунок 6) наблюдается систематическая ошибка в определении баказимута по РМСС (расчетный баказимут) относительно истинного баказимута примерно на 15 градусов на запад. Она характерна как для регулярных волн, так и для близкой и далекой коды. Кроме того, наблюдается четкое семейство детектирований в баказимуте 260 градусов, характерных только для Р-волн.

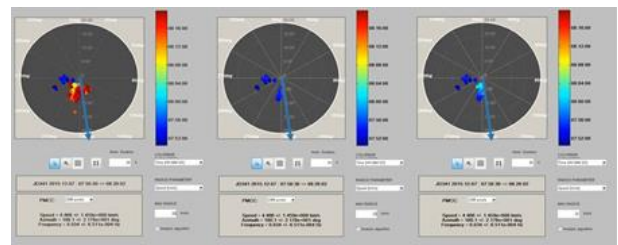


Рисунок 6. Полярные диаграммы по станции Боровое (коровое)

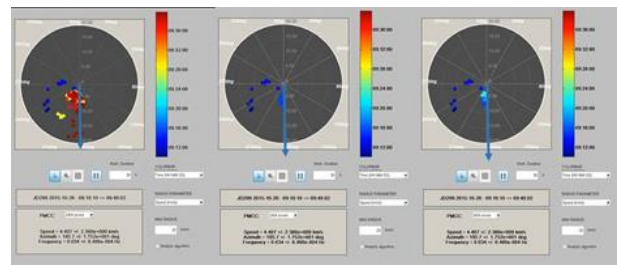


Рисунок 7. Полярные диаграммы по станции Боровое (глубокое)

Для глубокого землетрясения (рисунок 7) отклонения в баказимуте менее заметны, но наличие семейства детектирований в Р-волне с баказимутами 240–270 градусов также имеет место.

### СТАНЦИЯ АКБУЛАК

Для корового (рисунок 8) землетрясения практически отсутствует ошибка в определении баказимута по РМСС. Он точно совпадает с истинным баказимутом по регулярным волнам. Отмечено семейство детектирований в начальной части записи (Р-волны) практически с обратным азимутом. Но в далекой коде  $L_g$ -волны отмечен закономерный уход расчетных азимутов от истинного на восток на 75 градусов.

Красная стрелка на рисунках указывает направление истинного баказимута.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА РМСС ДЛЯ АНАЛИЗА ВОЛНОВОЙ КАРТИНЫ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

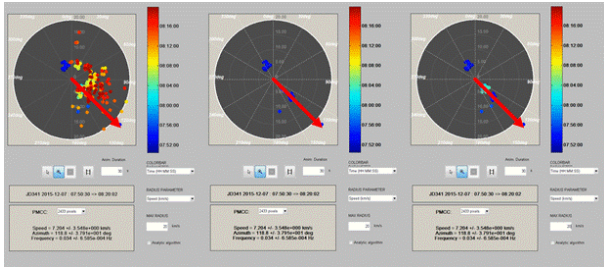


Рисунок 8. Полярные диаграммы по станции Акбулак (коровое)

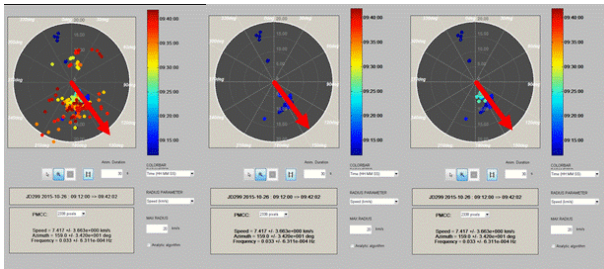


Рисунок 9. Полярные диаграммы по станции Акбулак (глубокое)

Для глубокого события (рисунок 9) в области регулярных Р и S-волн также нет никаких отклонений в баказимуте. В коде отмечен уход баказимуты в обратном направлении, чем это было для корового землетрясения примерно на такую же величину.

### СТАНЦИЯ МАКАНЧИ

С самого начала записи корового землетрясения (рисунок 10) наблюдается несоответствие расчетного баказимута истинному. Красной стрелкой на рисунке 10 показано истинное направление на источник, синей – то, которое получено с использованием РМСС. Расчетный баказимут систематически больше истинного примерно на 10 градусов. Это наблюдается по волнам Pn и Pg, а также по S-волнам.

Но уже даже по регулярным волнам отмечается серия детектирований с разными кажущимися скоростями со значением баказимута примерно 200 градусов.

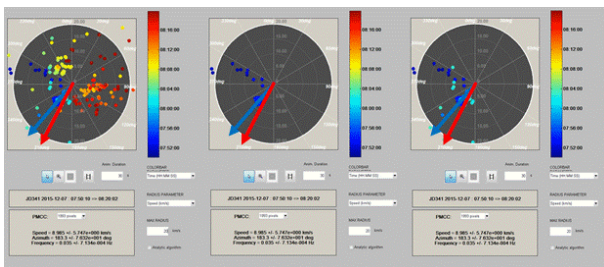


Рисунок 10. Полярные диаграммы по станции Маканчи (коровое)

При переходе к коду наблюдаются совершенно удивительные изменения в значениях азимута – волны приходят практически со всех сторон от станции.

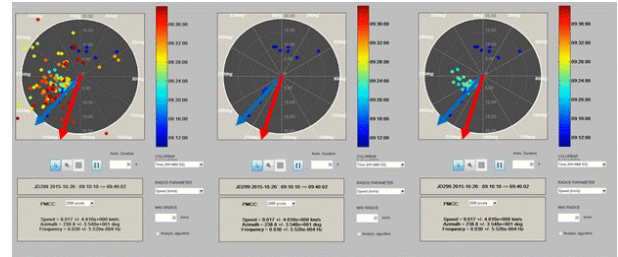


Рисунок 11. Полярные диаграммы по станции Маканчи (глубокое)

При глубоком землетрясении картина похожая (рисунок 11). С начала записи отмечены невязки в значениях баказимута в 28–30 градусов в ту же сторону, как и при коровом землетрясении. В коде все баказимуты приходящих на станцию волн западнее истинного на 90–180 градусов.

### СТАНЦИЯ КАРАТАУ

Это наиболее близкая к очагам землетрясений станция. При коровом землетрясении (рисунок 12) отмечена небольшая ошибка в баказимуте, которая не превышает 10 градусов. Далее с течением времени при переходе к коду Lg-волны отмечается закономерный уход азимута на восток почти на 160 градусов. Этот уход продолжается и в далекой коде, занимая весь диапазон баказимуты от 150 до 0 градусов.

При глубоком землетрясении (рисунок 13) наблюдается несколько иная картина. Отсутствуют закономерные изменения азимута во времени в коде S-волн. В течение первых 15 минут все значения баказимута по РМСС близки к истинному. Лишь в далекой коде спустя 20–30 минут от первого вступления сигналы приходят с азимуты, обратных истинному (от 300 до 30 градусов).

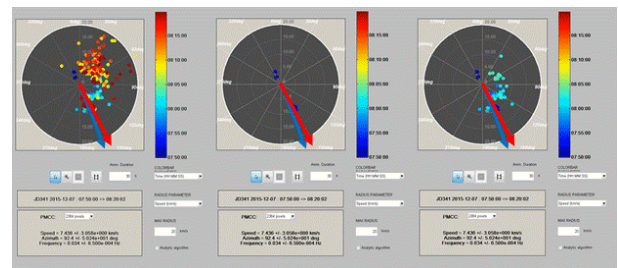


Рисунок 12. Полярные диаграммы по станции Каратау (коровое)

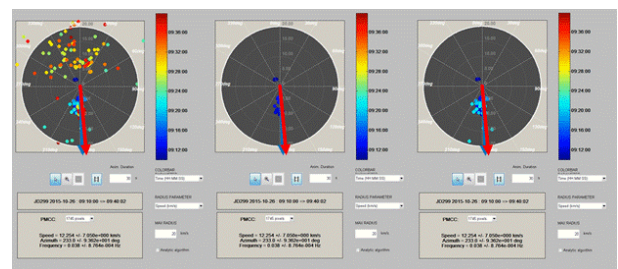


Рисунок 13. Полярные диаграммы по станции Каратау (глубокое)

### ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Характеристики коды, образованной рассеянными на мелких неоднородностях в литосфере волнами, как было показано ранее, зависят от взаимного расположения очага землетрясения и станции наблюдения [3]. В нашей работе этот тезис подтверждается тем, что для разных станций, расположенных в разных азимутах и на разных расстояниях от очага, получена существенно различная картина проявления характеристик коды при одном и том же землетрясении. Особенно четко это видно при сопоставлении РМСС-диаграмм самой далекой станции Залесово и самой близкой Каратау.

2. Впервые показано, что даже при близком расположении эпицентров источников, при существенно различной глубине их очагов, характеристики коды могут сильно различаться. Очень четко это наблюдается по станциям Каратау, Маканчи, Акбулак.

3. Наиболее простые записи коды наблюдаются по самой далекой станции Залесово. Как в Р-волне, так и в Sn- и Lg-коде расчетные баказимуты стабильны и совпадают с истинным баказимутом. Достаточно просты также и записи по станции Боровое, однако имеет место систематическая невязка в значениях баказимутов..

4. Существенные невязки баказимутов в Р-волнах наблюдаются по станции Маканчи, причем для глубокого землетрясения они даже существеннее, чем для корового.

5. Сложная, но различная картина в поведении баказимутов детектирования коды характерна для трех станций – Маканчи, Акбулак и Каратау. Объяснение этому может дать рассмотрение относительного расположения станций и казахстанского ороклина (рисунок 14) [4].

6. Согласно данным о геологическом строении, в Центральном Казахстане наблюдается наличие древней компактной неоднородности, которая находится между окружающими ее новейшими геологическими структурами (горные системы Урал, Алтай,

Тянь-Шань). Волны, проходящие через этот древний фундамент, должны иметь меньшее затухание, чем в окружающих горных системах. Этим процессом можно объяснить, почему самые энергетически высокие детектирования идут из казахского ороклина. Важное значение имеют и осадочные бассейны большой мощности (северо-каспийский, туранский, джунгарский), которые захватывают сейсмические волны. Именно с этими бассейнами связаны приходящие в дальней коды волны. Особенно ярко это явление наблюдается по станции Акбулак и, частично, по Маканчи.

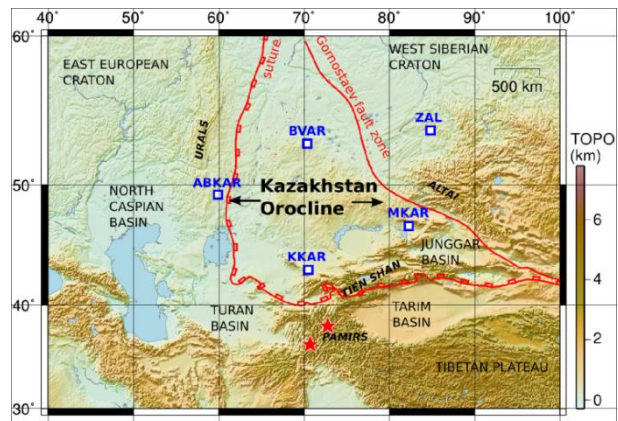


Рисунок 14. Карта Казахстана [4]. Показаны использованные станции (□), землетрясения (★), основные структуры (горные хребты, бассейны и платформы)

7. Полученные результаты показывают, что литосфера Центральной Азии, в которой происходит процесс рассеивания сейсмических волн, является горизонтально неоднородной. На коду волн значительное влияние оказывают неоднородная топография, сложная геологическая структура, распределение неоднородностей, что ведет к латеральной изменчивости характеристик скорости по простиранию, связанной с рассеянием и затуханием.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Cansi, Y. An automatic seismic event processing for detection and location: The P.M.C.C. method / Y. Cansi // Geophys. Res. Lett. 1995. – 22. – P. 1021–1024.
2. Мусрепов, А.В Очаг и последствия сильнейшего гиндукушского землетрясения 26 октября 2015 г. (Mw=7,5 / А.В. Мусрепов, А.Н. Соколов // Вестник НЯЦ РК. – 2016. – Вып. 4. – С. 62–70.
3. Labonne, C. Detailed Analysis of the Far-Regional Seismic Coda in Kazakhstan Using Array Processing / C. Labonne, O.Sèbe, A. Smirnov, S. Gaffet, Y. Cansi, N. Mikhailova // Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 107, No. 2, pp. 611–623, April 2017, doi: 10.1785/0120160015.
4. Xiao, W., B. Huang, C. Han, S. Sun, and J. Li (2010). A review of the western part of the Altai: A key to understanding the architecture of accretionary orogens, Gondwana Res. 18, no. 2, 253–273.

**ОРТАЛЫҚ АЗИЯНЫҢ ҚАТТЫ ЖЕРСІЛКІНУЛЕРІНІҢ ТОЛҚЫНДЫҚ КӨРІНІСІН ТАЛДАУ  
ҮШІН ҮМК (ҮДЕМЕЛІ КӨПАРНАЛЫҚ КОРРЕЛЯЦИЯЛЫҚ) ӘДІСТІ ҚОЛДАНУ**

**В.И. Дубровин, Н.Н. Михайлова**

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Баяндамада 2015 жылы Орталық Азия аумағының бір аймағында  $M_w=7,5$  және  $M_w=7,2$  магнитудаларымен болған екі ең қатты жерсілкінулерден – терең және қыртысты жерсілкінулерден тіркелген белгілердің талдауы көрсетілген. Зерттеу нәтижесі әртүрлі толқындардың таралу жолдарында орналасқан, геологиялық ортаның әртектіліктерімен сейсмикалық толқындар бағытының өзара әрекеттесулері туралы түсінікті кеңейтуге мүмкіндік береді.

**USING PMCC METHOD FOR THE WAVE PATTERN ANALYSIS  
OF STRONG EARTHQUAKES IN CENTRAL ASIA**

**V.I. Dubrovin, N.N. Mikhailova**

*Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

The paper reflects an analysis of recorded signals from two strong earthquakes – deep one and crustal one with epicenters in one region on the territory of Central Asia, which occurred in 2015 with magnitudes  $M_w=7,5$  and  $M_w=7,2$ . The results of this research will allow expanding the concept of interaction of seismic wave front with heterogeneity of geological environment, located on the way of various waves' propagation.

УДК 550.344

## СЕЙСМИЧНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Мукамбаев А.С., Михайлова Н.Н.

*Институт геофизических исследований. Курчатов, Казахстан*

Впервые в Казахстане взрывная деятельность, осуществляемая в промышленных целях, рассматривается в аспекте сейсмичности и сейсмической опасности. Проведен анализ результатов регистрации взрывов на территории Казахстана станциями сети РГП ИГИ за последние 10 лет. Выявлено примерно 60 000 взрывов, определены районы, где взрывы составляют основную массу сейсмических источников, изучено относительное количество высвобожденной сейсмической энергии от взрывов по сравнению с землетрясениями, определен класс событий, относящихся к природно-техногенным землетрясениям.

### ВВЕДЕНИЕ

Станции сети РГП ИГИ ежедневно регистрируют большое количество сейсмических событий, среди которых весомое место занимают события, связанные с взрывной деятельностью. На обширной территории Республики Казахстан производятся взрывные работы в целях разработки месторождений твердых полезных ископаемых. Кроме этого, проводятся и другие взрывные работы, не связанные с добычей природного сырья, например, учебные взрывы на военных полигонах, взрывы при прокладке трубопроводов, при строительстве дорог, плотин, промышленных объектов, для ликвидации ледяных заторов на реках в весенний период, а также специальные калибровочные взрывы в научных целях.

Регистрация взрывов, их распознавание на записях сейсмических станций, параметризация и идентификация в бюллетенях сейсмических событий являются важной частью работ по оценке сейсмической опасности. Ранее на взрывы в этой проблеме главное внимание фокусировалось с точки зрения того, чтобы не включать их в расчеты параметров сейсмического режима, чтобы избежать искаженных представлений о сейсмopotенциале тех или иных сейсмогенерирующих зон. Именно эта сторона изучения взрывов была важна, когда исследования проводились на высокоактивных сейсмических территориях. Но в последние годы возникли и другие аспекты изучения взрывной деятельности в связи с проблемой сейсмической опасности. Большое количество объектов, где производятся взрывные работы, расположено на асейсмичной территории Республики Казахстан. Там именно взрывы составляют основные источники генерации сейсмической энергии. Кроме того, в этих районах существуют риски, связанные с возможным возникновением индуцированных и триггерных землетрясений. Приходится выделять не взрывы на фоне большого количества землетрясений, а именно землетрясения на фоне большого количества взрывов. Это сложная работа, но очень важная для получения достоверной оценки сейсмической опасности слабоактивных сейсмических районов. Настоящая работа посвящена анализу результатов регистрации взрывов на станциях сети РГП ИГИ за последние 10 лет.

### ВЗРЫВНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА

Для решения задач сейсмической опасности необходимо уметь разделять сейсмические события по их природе. Для надежного распознавания природы сейсмического события нужно применять различные методы, один из них – независимое изучение самих карьеров, на которых производятся взрывные работы. Поэтому с 2007 по 2013 гг. Институт геофизических исследований в рамках научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» по разделу 04 «Комплексные научные исследования по геолого-геофизическим аспектам ядерно-энергетической отрасли и режима нераспространения» проводились работы по изучению активных карьеров промышленных взрывов во всех регионах Казахстана.

Важно было получить информацию об источниках взрывов и сопоставить ее с записями, полученными на станциях, и в совокупности с методами распознавания, которые базируются на информации о записях, более точно и надежно идентифицировать взрывы. Идентификация взрывов позволяет составлять корректные каталоги землетрясений, которые в свою очередь используются в различных задачах сейсмологии.

В результате экспедиционных работ с 2007 г. по 2013 г. обследовано 320 объектов промышленных взрывов на 190 горнодобывающих предприятиях Казахстана. 24 из них относились к временным объектам, связанным со строительством автодорог, газопроводов, цементного завода, водохранилищ и др.

Эти работы позволили уточнить местоположение действующих карьеров и других объектов промышленных взрывов, собрать информацию о технологии буровзрывных работ и параметрах взрывов для всех карьеров на территории Казахстана с датами, временем и местом взрывов, размерами взрывных блоков, геометрией рассредоточения и массой взрывчатого вещества – общей и по отдельным взрывным скважинам. Были составлены таблицы и схемы расположения действующих карьеров и других объектов промышленных взрывов. Получена информация об их активности по количеству взрывов в год и макси-

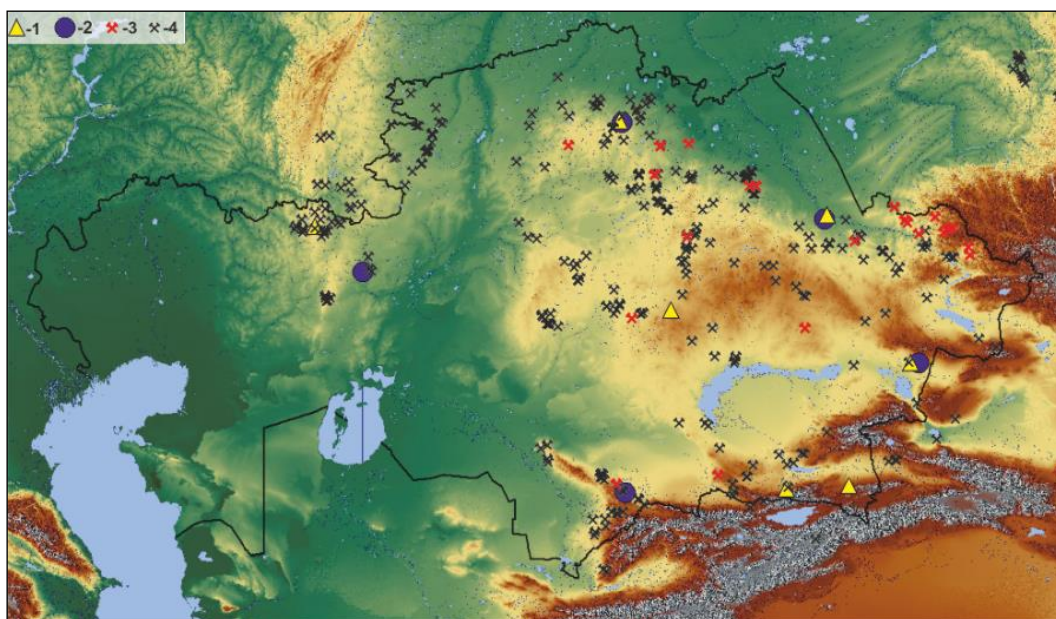
мальной мощности взрывов на фоне средней мощности для отдельных карьеров, а также параметры буровзрывных работ для отдельных промышленных взрывов. Учтены также единичные подземные рудники (шахты), использующие для «отпалки» (отделения) руды взрывчатые вещества массой более 1–2 тонн. Собранные сведения по карьерам и взрывам приведены к единому формату и занесены в специальную базу данных по промышленным взрывам и действующим карьерам (рисунок 1). База данных разработана и реализована на СУБД Microsoft Access в среде Microsoft Windows и обеспечивает накопление, хранение, быстрое и удобное предоставление запрашиваемой информации.

Основными местами проведения промышленных

взрывов в настоящее время являются карьеры горнодобывающих предприятий рудной отрасли и производства строительных материалов с активностью от 10–15 до 50–100 и более взрывов в год (рисунок 2). На большем количестве рудных и нерудных карьеров, а также на других объектах промышленных взрывов производится не более 5–10 взрывов в год. В активных карьерах мощность взрывов в среднем колеблется в пределах 15–40 тонн, редко достигает 70–80 тонн. Но на единичных карьерах-гигантах, таких как Житикаринский асбестовый, или железорудные карьеры Соколовско-Сарбайского объединения, даже средняя мощность взрывов достигает 100 и 200 тонн, а максимальная мощность взрывов может достигать до 578 и 625 тонн.



Рисунок 1. Фрагмент структуры базы данных



1 – 3-х компонентные станции, 2 – сейсмические группы, 3 – шахты, 4 – карьеры

Рисунок 2. Карта расположения станций сети ИГИ и активных объектов промышленных взрывов на территории Республики Казахстан и сопредельных стран

Существенный вклад в сейсмическую картину регистрируемых событий вносят также горнодобывающие предприятия соседних государств, особенно России. Информация о них собирается, в основном, по литературным источникам, интернету и космическим снимкам. Имеющиеся независимые данные позволили выбрать ряд эталонных событий и подобрать сейсмограммы взрывов по каждому карьеру.

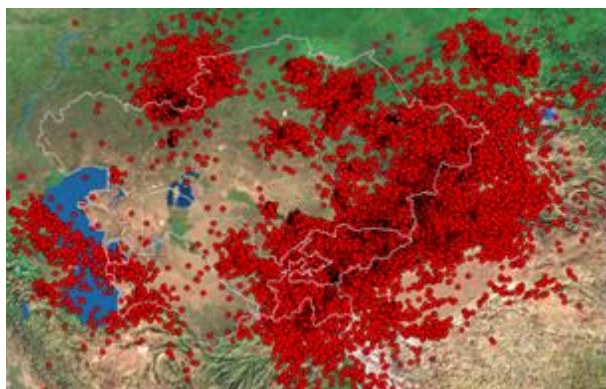
Создается атлас сейсмограмм по опорным станциям. Особое внимание придается поиску эталонных взрывов, по которым имеются точные параметры взрывания, привязке к определенному карьере и подбору соответствующих записей на станциях РГП ИГИ. Эталонные события используются для изучения скоростных характеристик среды, повышения точности локализации и проверки возможностей сетей мониторинга, а их сейсмограммы служат образцами волновых форм для распознавания взрывов из данного карьера.

Эталонные взрывы могут быть разделены на два типа. Первый тип – когда известны точные координаты карьера, на котором проведен взрыв, но неизвестно точное время взрывания (в этом случае для определения координат взрывов используются GPS-приборы). По этим эталонным взрывам ведется отбор сейсмограмм, служащих образцами для распознавания событий и для оценки параметров колебаний. Второй тип эталонных взрывов является более ценным классом событий – когда известны не только точные координаты взрыва, но и точное время взрывания (точные координаты взрывов измерены GPS-приборами, а точное время взрыва определено до сотых долей секунды, например, с помощью цифровых акселерометров, установленных в непосредственной близости от места взрыва). Таких событий всегда мало, но они представляют ценность не только для данного региона, но и для мирового сообщества сейсмологов. В созданной базе эталонных событий к этому классу взрывов относятся, например, калибровочные взрывы, проведенные на СИП в

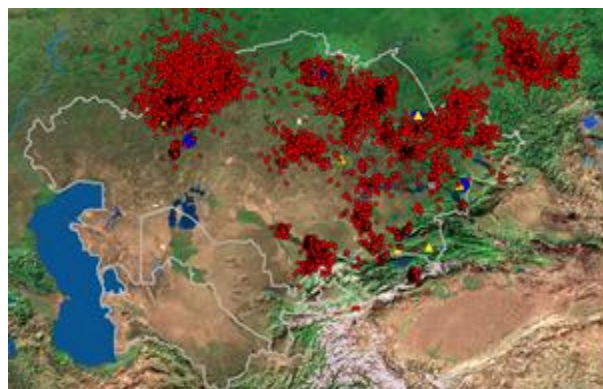
1997–2002 гг. мощностью от 2 до 100 т, мощные химические взрывы на карьере Каражыра, точное время и координаты которых были получены в ходе полевого эксперимента по инспекции на месте, а также мощный промышленный взрыв (2.8 кТ) 22 декабря 2009 г., произведенный в Кыргызстане для перекрытия реки Нарын при создании плотины на ГЭС «Камбарата». Кроме того, в базу эталонных событий включено несколько экспериментальных химических взрывов на карьерах в Западном Казахстане, проведенных в июне 2010 г. Регистрация этих взрывов проведена стационарной и временной сетью станций с целью уточнения региональных годографов для Центрального, Южного и Западного Казахстана.

#### СЕТЬ РГП ИГИ И ВОЗМОЖНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ

С созданием стационарной высокочувствительной сети сейсмических станций РГП ИГИ (рисунок 2), расположенных не только в сейсмичных, но и в асейсмичных районах Казахстана – на севере, западе, в центральной части Республики – началось планомерное изучение сейсмичности территории, которая традиционно не относилась к сейсмически активной [1]. Ежедневная рутинная обработка сейсмических данных мониторинга показала, что общее число обрабатываемых и локализуемых сейсмических событий в таких зонах доходит до нескольких тысяч в год. Из этого числа большая часть событий связана не с природной сейсмичностью, а с промышленными взрывами на карьерах (реже подземными на рудниках и других объектах) (рисунки 3, 4). Часто взрывы и землетрясения близки по местоположению, что делает актуальным для Казахстана решение вопроса о повышении точности идентификации природы регистрируемых событий, особенно с учетом активности взрывных работ при добыче руд и строительных материалов, возрастающей год от года (рисунок 5).



а)



б)

Рисунок 3. Карта эпицентров всех сейсмических событий (а) и промышленных взрывов (б), зарегистрированных сетью РГП ИГИ за 2012–2016 гг.

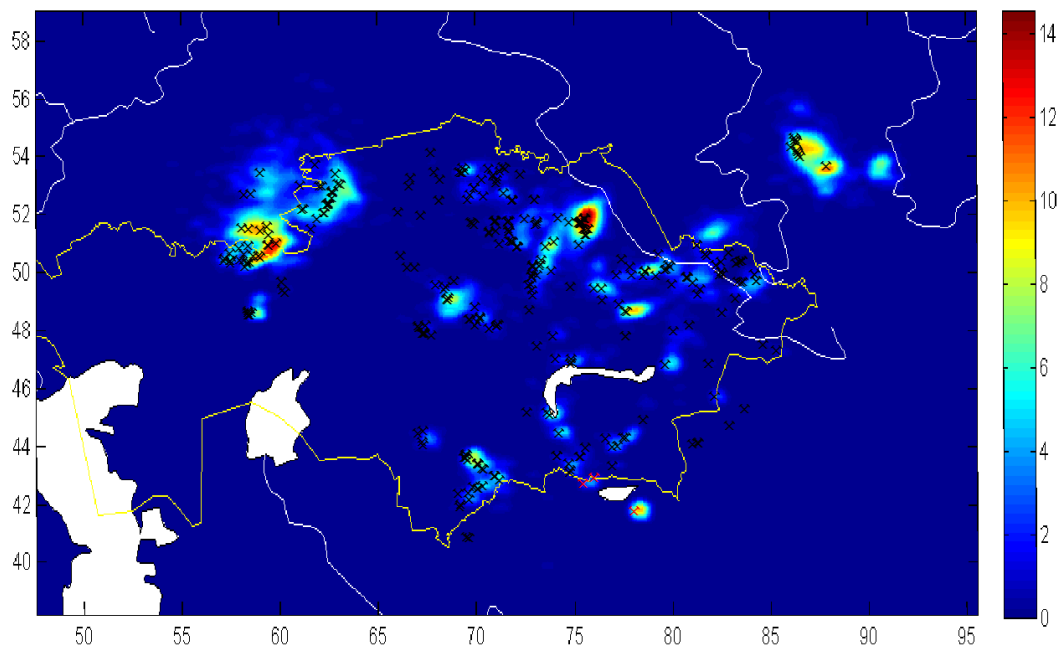


Рисунок 4. Карта плотности эпицентров карьерных взрывов, регистрируемых сетью РГП ИГИ

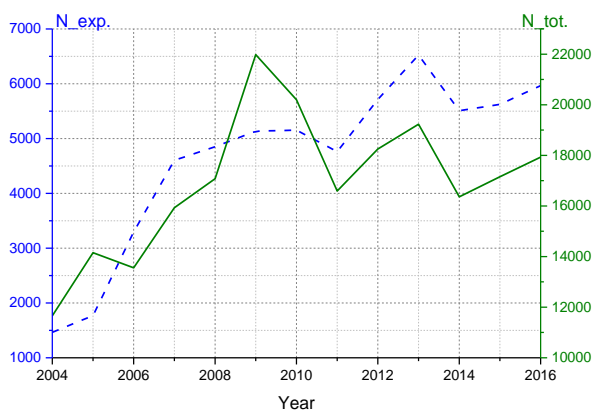


Рисунок 5. График изменения общего количества сейсмических событий (зеленый) и количества промышленных взрывов (синий) за различные годы по данным РГП ИГИ

По данным сети ИГИ за последние 10 лет было зарегистрировано около 194 000 сейсмических событий, из которых примерно 60 000 связаны со взрывными работами. В среднем каждый год регистрируются 18000 событий, 6000 из которых – взрывы (рисунок 5).

**КРИТЕРИИ ИДЕНТИФИКАЦИИ (РАСПОЗНАВАНИЯ) ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ**

Для распознавания природы сейсмических событий по записям сейсмических станций используется следующий комплекс параметров: 1 – координаты события и близость к известным карьерам; 2 – глубина события; 3 – особенности записей волновой картины; 4 – время события относительно суток; 5 – наличие сигнала, зарегистрированного инфразвуковой станцией; 6 – диапазон энергетических классов; 7 – спектральное отношение амплитуд в различных

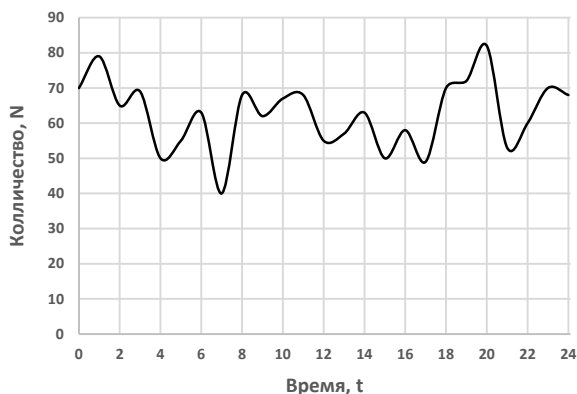
волновых группах; 8 – характеристики спектров разных волновых групп. Каждый из перечисленных параметров в отдельности не может являться универсальным и надежным признаком для разделения сейсмических событий на взрывы и землетрясения. Анализ нескольких признаков в комплексе повышает шанс правильного определения природы события. Так, к классу карьерных взрывов позволяют отнести событие, например, близость его эпицентра к известному карьере, малая глубина, характерная запись инфразвуковой станции, а также время события относительно времени суток. Возникновение землетрясения равновероятно в любое время суток, а карьерные взрывы можно довольно жестко привязать к рабочему времени (рисунок 6).

Конкретные количественные критерии распознавания могут различаться в различных регионах Казахстана, а также для разных станций регистрации. Как следует из сопоставления сейсмограмм на рисунке 7 из работы [2], записи взрыва и землетрясения существенно различаются. На сейсмограмме взрыва наблюдается четкое вступление Р волны, сравнительно небольшая по амплитуде S волна и доминирующие низкочастотные поверхностные волны, тогда как на сейсмограмме землетрясения поверхностные волны отсутствуют, а по амплитуде доминирует волна S.

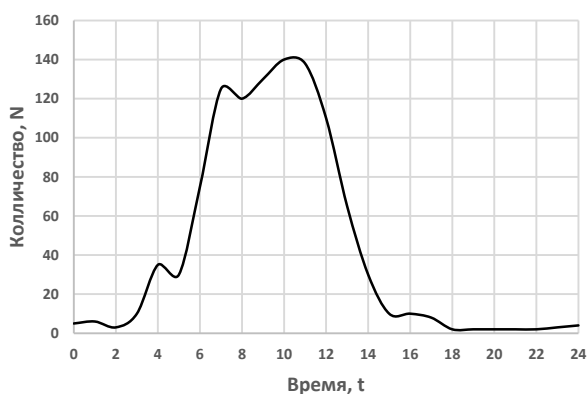
В работе [2] приводился пример анализа сейсмограмм по изучению амплитудных отношений S и Р волн, как наиболее эффективному и универсальному методу распознавания химических взрывов и землетрясений. Методика обработки сейсмограмм включала измерение десятичных логарифмов отношения амплитуд S/P на вертикальной компоненте при узкополосной фильтрации. Использовались фильтры с



центральными частотами 1.25, 2.5, 5 Гц и полосой пропускания 2/3 октавы на уровне -3 Дб от максимума. Четко видно, что по данным станции Курчатов довольно уверенно может быть идентифицирована природа события с использованием методики спектральных отношений амплитуд S- и P-волн. Аналогичные исследования проведены для взрывных работ во всех районах Казахстана.



а)



б)

Рисунок 6. График распределения землетрясений (а) и взрывов (б) по времени суток

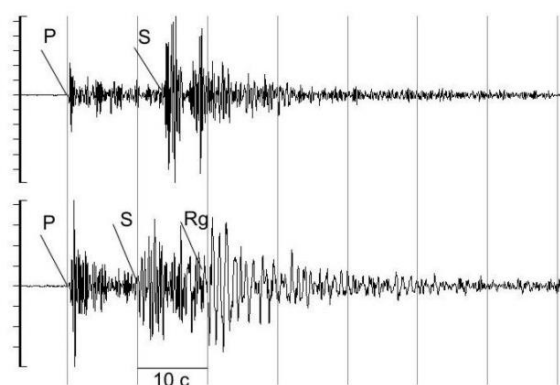
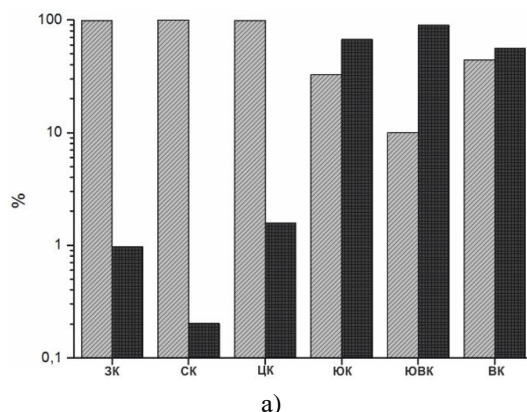


Рисунок 7. Сейсмограммы землетрясения 04.18.2004,  $\phi=49.99^\circ$ ,  $\lambda=77.42^\circ$ ,  $mb=3.8$  (верхняя) и взрыва на карьере Каражыра 6.29.2008,  $\phi=50.00^\circ$ ,  $\lambda=78.63^\circ$ ,  $mb=3.3$  (нижняя). Станция KURK

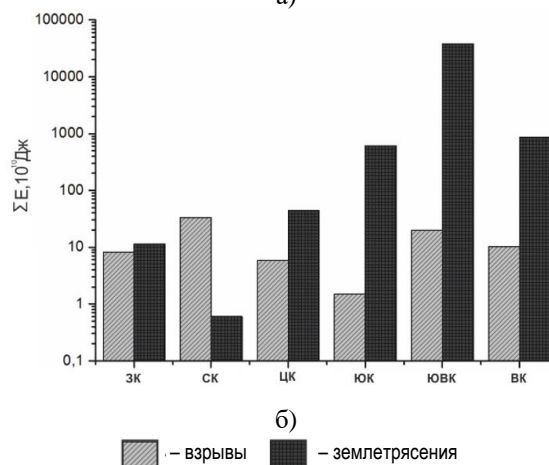
Комплекс критериев распознавания был применен к анализу сейсмических записей событий по станциям ИГИ. Все события классифицированы по природе источников. Составлен каталог взрывов для всей территории Казахстана, включающий почти 60 000 источников взрывов. Для каждого взрыва определены параметры, характеризующие его очаг и высвобожденную сейсмическую энергию. Это позволило изучить системно массив данных о взрывах, выявить различные пространственно-временные закономерности их проявления, сопоставить их энергию с энергией землетрясений и др.

**СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ, СВЯЗАННАЯ С КАРЬЕРНЫМИ ВЗРЫВНЫМИ РАБОТАМИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

Проведено относительное сравнение двух типов сейсмических источников – взрывов и землетрясений для разных регионов Казахстана. Рассматривалось отношение количества событий – взрывов и землетрясений, а также отношение суммарной высвобожденной сейсмической энергии взрывов и землетрясений для каждого региона. На рисунке 8 представлены гистограммы распределения количества взрывов и землетрясений и суммарной сейсмической энергии для различных регионов Казахстана за последние 10 лет.



а)



б)

■ — взрывы ■ — землетрясения

Рисунок 8. Распределение количества взрывов и землетрясений (а) и суммарной сейсмической энергии (б) для различных регионов Казахстан

В Западном Казахстане (ЗК) количество взрывов достигает 99 % от общего количества всех сейсмических событий, но при этом суммарная сейсмическая энергия землетрясений почти равна суммарной энергии взрывов.

Возрастающие масштабы и интенсификация освоения земных недр в современных условиях привели к появлению двух проблем, а именно: необходимости решения задач по прогнозированию чрезвычайных ситуаций, вызванных техногенной сейсмичностью, и исследованию возможности активизации природных явлений за счет долговременных техногенных воздействий.

Сейсмические явления, возникающие вследствие техногенного воздействия на геологическую среду, принято называть наведенной сейсмичностью, которую подразделяют на индуцированную и триггерную. Индуцированная сейсмичность проявляется в виде относительно слабых толчков при внешних возмущениях, эпицентры которых располагаются в пределах области воздействия техногенного источника. Триггерная сейсмичность возникает за счет высвобождения запасенной энергии тектонических деформаций геологической средой под воздействием внешних источников возмущений [3] и, следовательно, может проявляться на активизированных структурах в областях с высокой естественной природной сейсмичностью. Энергия образующихся при этом землетрясений может достигать естественного фона сейсмической активности.

В мире известны крупные техногенные землетрясения, связанные с взрывной деятельностью. Пример такого события – 8-ми балльное техногенное землетрясение, произошедшее 18.06.2013 г. на территории РФ и получившее свое название от разреза Бачатский (Кузбасский карьер), к борту которого приурочен эпицентр (рисунок 9). В результате этого землетрясения в ближайших к эпицентру населенных пунктах интенсивность сотрясений достигла 7 баллов, наблюдались разрушения зданий [4].

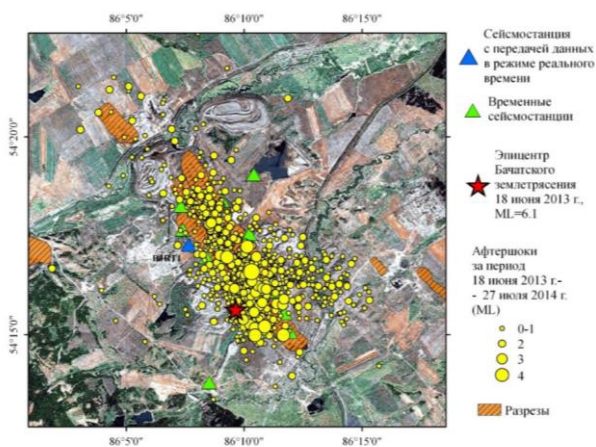


Рисунок 9. Карта эпицентров главного толчка и афтершоков Бачатского землетрясения [4]

Также известны 5–6-ти балльное Кукисвумчоррское техногенное землетрясение, которое произошло в пределах рудного поля, действующего с 1929 г. рудника им. С.М. Кирова АО «Апатит». При детальном изучении Кукисвумчоррского техногенного землетрясения было выявлено, что его сейсмограмма практически идентична сейсмограмме техногенного Умбозерского землетрясения 17.08.1999 г. на Умбозерском руднике в Ловозерском горном массиве, когда произошел взбросо-сдвиг с выходом сместителя на поверхность массива, и вслед за ним произошло обрушение подземных выработок на площади 650 тыс. м<sup>2</sup> [5].

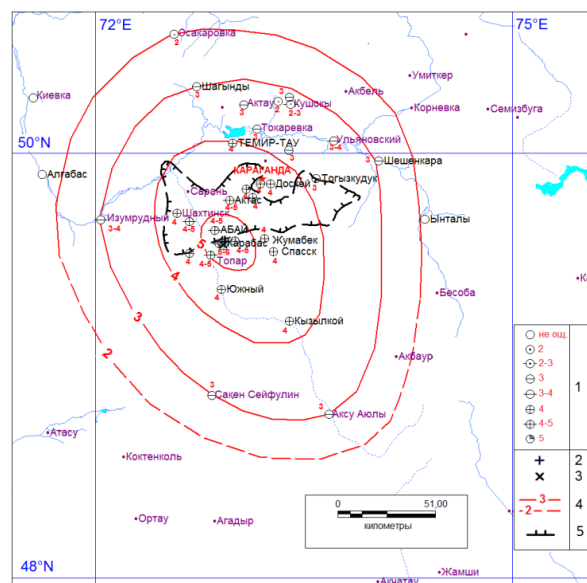


Рисунок 10. Карта изосейст Карагандинского землетрясения 21.07.2014 г. [7]

Примером таких природно-техногенных землетрясений в Казахстане могут служить землетрясения на месторождении Жезказган 01.08.1994 г., с  $m_b=4.8$ , 23.06.1996 г., с  $m_b=3.7$ , 10.09.2002 г., с  $m_b=4.5$ , 24.06.2005 г., с  $m_b=4.2$ , которые привели к крупным обрушениям и провалам на поверхности Земли и человеческим жертвам [6], а также недавнее Карагандинское землетрясение 21.07.2014 г. с  $m_b=5.2$ , где интенсивность сотрясения в эпицентральной зоне составил 5–6 баллов (рисунок 10) по шкале MSK 64 [7]. Это землетрясение спровоцировано активной взрывной деятельностью в рядом расположенных карьерах.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Сейсмическая сеть РГП ИГИ, созданная в последние десятилетия, позволила получить полное представление о взрывной деятельности на всей территории Республики и о вкладе событий взрывной природы в общую сейсмичность. Районирование территории по соотношению количества естественных и искусственных сейсмических источников показало существенное различие разных регионов по

этому параметру. Причем в Западном, Северном и Центральном Казахстане отмечено существенное превалирование взрывов над землетрясениями. Сейчас уже невозможно игнорировать сейсмическую энергию взрывов в общем потоке высвобождаемой сейсмической энергии и связанные со взрывами риски. Во-первых, с ними связан сейсмический риск вследствие прямого сейсмического воздействия на объекты и сооружения, находящиеся в поле непосредственного воздействия колебаний от взрывов. Во-вторых, опыт наблюдений за взрывами в разных странах показывает, что длительные воздействия от

взрывов могут привести к возбуждению на существующих рядом с карьерами разломах землетрясений, относящихся к классу природно-техногенных явлений, спровоцированных долговременной взрывной деятельностью. Их интенсивность может достигать значений до 8 баллов, примером которых является Бачатское техногенное землетрясение 18.06.2013 г. Необходимо создавать специальные сети мониторинга на разрабатываемых месторождениях и следить за развитием геодинамических процессов, чтобы не допустить возможных катастрофических последствий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлова, Н.Н. Новая сеть казахстанских станций: новые данные о сейсмичности / Н.Н. Михайлова, И.Н. Соколова // Материалы Международной конференции, посвященной 10-летию выпуска сборника научных трудов «Землетрясения Северной Евразии». Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 180–185.
2. Соколова, И.Н. Распознавание сейсмических источников на территории Семипалатинского испытательного полигона по данным станций сейсмической сети НЯЦ РК / И.Н. Соколова, А.К. Мусин, Г.С. Султанова // Вестник НЯЦ РК. «Геофизика и проблемы нераспространения» Радиоэкология. Охрана окружающей среды: – 2003. – Вып. 2. – С. 61–67.
3. Николаев, А. В. Проблемы наведенной сейсмичности / А.В. Николаев // Наведенная сейсмичность. М.: Наука, 1994. – С. 5–15.
4. Еманов, А.Ф. Техногенное Бачатское землетрясение 18.06.2013 г. (ML = 6.1) в Кузбассе - сильнейшее в мире при добыче твердых полезных ископаемых / А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, А.В. Фатеев, Е.В. Лескова // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2016. – Т. 43. – № 4. – С. 34–60.
5. Асминг, В.Э. Кукисвумчорское техногенное землетрясение 21 октября 2010 г. с КР=10.1, Мl=4.1, I0=5–6 (Мурманская область) / В.Э.Асминг [и др.].
6. Герман, В.И. Техногенные землетрясения и прогноз обрушений на Жезказганском месторождении / В.И. Герман // Материалы Международной конференции «Геолого-геофизическая среда и разнообразные проявления сейсмичности». Институт земной коры Сибирского отделения РАН, 2015. – С. 194–199.
7. Михайлова, Н.Н. О землетрясении близ Караганды 21 июня 2014 года / Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко, А.Н. Узбеков, А.А. Великанов // Вестник НЯЦ РК. – 2015. – Вып. 3. – С. 94–100.

### ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ АУМАҒЫНДАҒЫ ЖАРЫЛЫС ЖҰМЫСТАРЫНЫҢ СЕЙСМИКАЛЫЛЫҒЫ

А.С. Мукамбаев, Н.Н. Михайлова

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Қазақстанда бірінші рет өнеркәсіптік мақсатта жүргізілетін жарылыс қызметі сейсмикалық және сейсмикалық қауіпсіздік аспекті бойынша қарастырылады. Соңғы 10 жылда Қазақстан аумағында тіркелген жарылыстардың талдауы жүргізілді. Мөлшері 60 000-ға жуық жарылыс анықталды, сейсмикалық көздердің негізгі бөлігін құрайтын жарылыстар аудандары анықталды, жерсілкінулерден қарағанда жарылыстардан босатылған сейсмикалық қуаттың салыстырмалы көлемі зерттелді, табиғи-техногенді жерсілкінулер қатарына жататын оқиғалар анықталды.

### SEISMICITY FROM MINING BLAST ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

A.S. Mukambayev, N.N. Mikhailova

*Institute of Geophysical Researches, Kurchatov, Kazakhstan*

For the first time in Kazakhstan, blasting operations carried out for the industrial purposes is being considered in the aspect of seismicity and seismic danger. The analysis of results of mining blast recording at the stations of RSE IGR network over the last 10 years has been carried out. About 60 000 explosions have been revealed, areas where explosions make the bulk of seismic sources have been defined, relative amount of the released seismic energy from explosions in comparison with earthquakes has been studied, and the class of the events relating to natural and technogenic earthquakes has been defined.

УДК 550.344

## РЕГИСТРАЦИЯ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТЬЮ ИГИ МЭ РК

Узбеков Р.Б., Сейнасинов Н.А.

*Институт геофизических исследований. Курчатов, Казахстан*

В статье анализируются характеристики подземных ядерных взрывов произведенных на полигонах Пунгери, Лобнор, Муруроа, Похаран, Чагай, параметры их записей на казахстанских станциях, позволяющие более точно оценивать координаты источника и магнитуду события. Показана эффективность сети сейсмических станций РГП ИГИ, и вклад Казахстана в мониторинг ядерных испытаний на региональных и телесеизмических расстояниях.

**ВВЕДЕНИЕ**

В 1945 году были осуществлены первые в истории Земли ядерные взрывы. После их проведения человечество осознало, какие глобальные экологические и политические проблемы несут массовые испытания ядерного оружия. В связи с этим видные политические и общественные деятели, ООН начали пытаться запустить механизмы, позволяющие снизить количество испытаний, сделать их более безопасными и ограничить мощность ядерных зарядов, чтобы впоследствии перейти к эпохе, свободной от ядерного оружия и его испытаний. Так, в 1963 году Великобританией, Советским Союзом и США был подписан договор об ограничении испытаний ядерного оружия, запрещающий испытания в атмосфере, космическом пространстве и под водой. В 1968 году подписан договор о нераспространении, запрещающий государствам, не имеющим ядерного оружия, обладать, производить или приобретать ядерное оружие или другие ядерные взрывчатые устройства, а в 1974 г. Советским Союзом и США подписан пороговый договор, ограничивающий мощность ядерных зарядов до 150 килотонн. Все эти события привели к разработке Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) и созданию проекта системы контроля соблюдения этого Договора. 24 сентября 1996 г. в Нью-Йорке, в штаб-квартире ООН на 51-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН ДВЗЯИ был принят и открыт для подписанию. В таблице 1 приведены сведения о ядерных программах разных стран и статус ДВЗЯИ.

Из таблицы 1 видно, что несмотря на усилия международных организаций, ряд стран, обладающих

ядерным оружием не ратифицировал договор (США, Китай), а Индия, Пакистан и КНДР не подписали и не ратифицировали ДВЗЯИ. Для контроля за исполнением ДВЗЯИ и мониторинга ядерных испытаний стран, не подписавших договор, после 1997 года начала создаваться Международная система мониторинга, включающая 4 технологии, в настоящее время она введена в эксплуатацию на 90 %.

Казахстан подписал Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) в 1996 году. Согласно Протоколу к ДВЗЯИ в состав создаваемой Международной системы мониторинга по контролю за соблюдением ДВЗЯИ были построены пять объектов на территории Казахстана. Это сейсмическая группа Маканчи (PS23), входящая в сеть первичных станций МСМ (и входящая в сеть НЦД США), сейсмические группы Боровое (AS057), Курчатов (AS058), трехкомпонентная сейсмическая станция Актюбинск (AS059), входящие в число вспомогательных станций МСМ, а также инфразвуковая станция Актюбинск (IS31).

**СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ И ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

В Казахстане организацией, осуществляющей мониторинг ядерных испытаний в рамках ДВЗЯИ, является РГП «Институт геофизических исследований» МЭ РК (РГП ИГИ МЭ РК), который был организован в 1993 году, в 1994 г. в состав Института были включены станции, ранее принадлежавшие Службе специального сейсмического контроля СССР, находившиеся на территории Казахстана, – Курчатов, Боровое, Актюбинск, Маканчи.

Таблица 1. Параметры ядерных испытаний по странам

Страна	Кол-во испытаний	Первое испытание	Последнее испытание	Статус ДВЗЯИ
США	1032	16.07.1945	23.09.1992	Договор подписан 24.09.1996, не ратифицирован
СССР, Россия	715	29.08.1949	24.10.1990	Договор подписан 24.09.1996, ратифицирован 30.06.2000
Великобритания	45	03.10.1952	26.11.1991	Договор подписан 24.09.1996, ратифицирован 6.04.1998
Франция	210	13.02.1960	17.01.1996	Договор подписан 24.09.1996, ратифицирован 6.04.1998
Китай	45	16.10.1964	29.07.1996	Договор подписан 24.09.1996, не ратифицирован
Индия	3	18.05.1974	13.05.1998	Не подписан, не ратифицирован
Пакистан	2	28.05.1998	30.05.1998	Не подписан, не ратифицирован
КНДР	6	09.10.2006	09.09.2016	Не подписан, не ратифицирован
<b>ИТОГО</b>	<b>2058</b>			

В 1994–1996 гг. на территории Казахстана совместно с IRIS было размещено 5 трехкомпонентных широкополосных цифровых станций (АКТ, BRV, KUR, МАК, ТЛГ) и три малоапертурные сейсмические группы СНК, ZRN, VOS, в 1994-1996г.г. установлено 3 станции системы IRIS/IDA и IRIS/GSN (Боровое, Курчатов, Маканчи), в 1996 г. сейсмическая группа Курчатов-Крест, в 1997 г. трехкомпонентная сейсмическая станция Подгорное на Северном Тянь-Шане.

В 1999 г. в г. Алматы был открыт Центр сбора и обработки специальной сейсмической информации, который стал в рамках Международной системы мониторинга (МСМ) выполнять функции Казахского Национального Центра данных.

В 1999–2006 г. были построены и введены в эксплуатацию объекты МСМ и сейсмические группы АFTAC: СГ Маканчи (PS23), СГ Каратау, СГ Боровое (AS057), инфразвуковой станции Актюбинск (IS31), СГ Каратау, СГ Акбулак, Актюбинск (AS059), СГ Курчатов-крест (AS058).

В 2006 году была открыта трехкомпонентная станция KNDC на территории г. Алматы и в 2010 г. трехкомпонентная станции Ортау (OTUK), расположенная на территории Центрального Казахстана и модернизирована трехкомпонентная станция Подгорное на Северном Тянь-Шане) [1]. В 2010 г. была введена в эксплуатацию инфразвуковая станция Курчатов и в 2016 году инфразвуковая станция Маканчи.

В настоящее время сеть наблюдений ИГИ РК включает в себя 5 сейсмических групп, 7 трехкомпонентных и 3 инфразвуковых станции.

Данные системы мониторинга используются для задач глобального мониторинга ядерных взрывов и землетрясений. Производится регулярный обмен данными с Международными сейсмологическими центрами для составления мировых сейсмологических бюллетеней (REB, ISC, EMSC, ГС РАН), волновые формы передаются в IRIS/DMC и используются геофизиками разных стран для научных исследований [1, 2].

Основной задачей системы мониторинга Казахстана является обнаружение и определение параметров ядерных взрывов. С начала функционирования сеть ИГИ зарегистрировала 6 подземных ядерных взрывов, произведенных Францией 1995-1996 гг. на атоллах Муруроа и Фангатауфа в Тихом океане (рисунок 1), 5 ядерных взрывов, произведенных Китаем на полигоне Лобнор 1994–1996 гг., 2 ядерных испытания, произведенных Пакистаном в районе испытательного полигона Чагай в 1998 г., 1 подземный ядерный взрыв, произведенный Индией на полигоне Похаран в 1998 г., и 5 ПЯВ, произведенных КНДР на полигоне Пунгери 2006–2016 гг. На рисунке 1 представлена карта расположения станций сети ИГИ и эпицентров ПЯВ, зарегистрированных сейсмическими цифровыми станциями ИГИ. Сейсмичес-

кие станции ИГИ РК характеризуются низким уровнем сейсмических шумов в районе расположения станций, на них установлена современная высокочувствительная аппаратура, в связи с чем они отличаются уникальными условиями для регистрации сейсмических сигналов среди всех мировых станций. Этот факт позволяет успешно регистрировать даже слабые ПЯВ на региональных и телесеismicких расстояниях [1, 2].

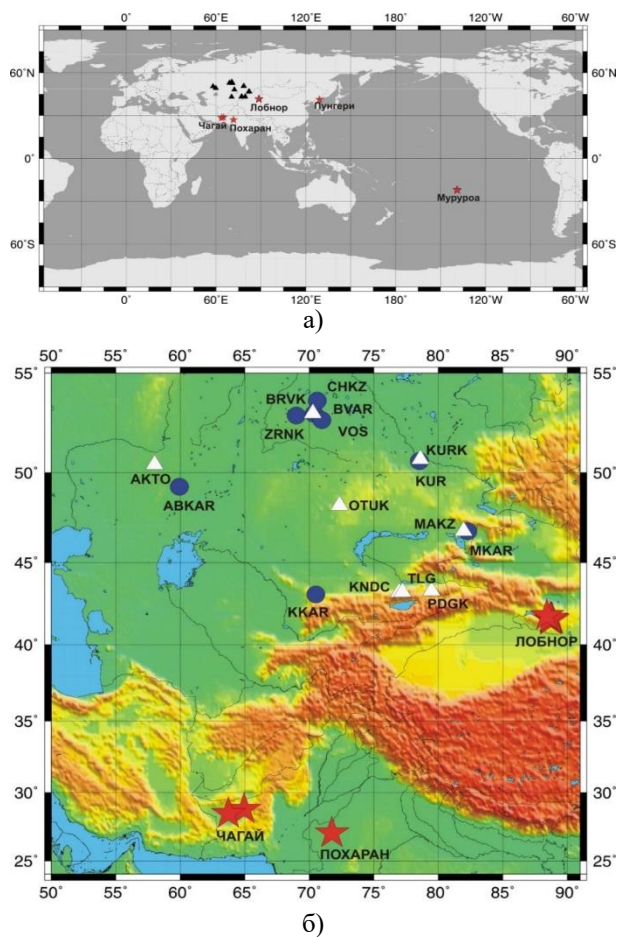


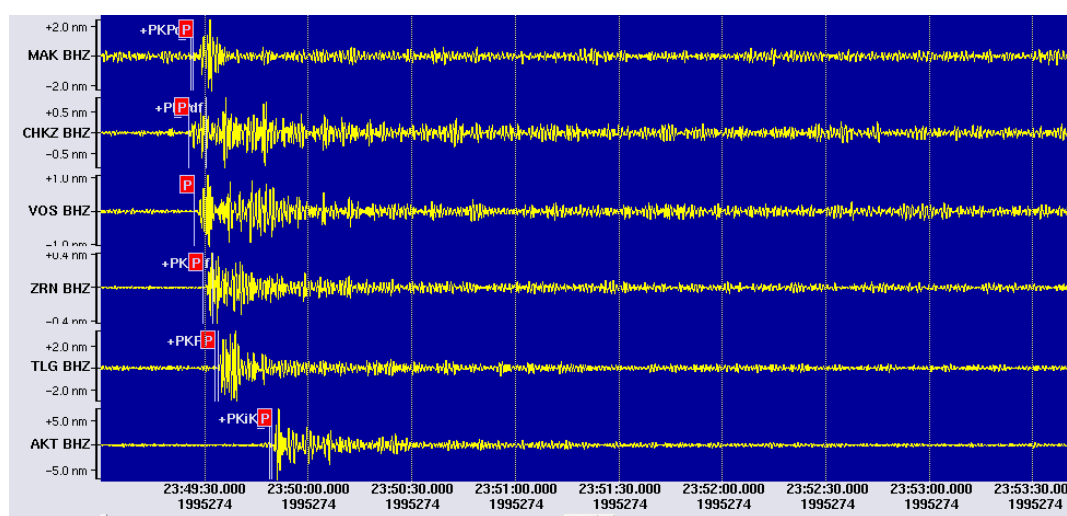
Рисунок 1. Карта расположения станций ИГИ РК и эпицентров ПЯВ 1994-2016 гг. а) на телесеismicких и региональных расстояниях, б) на территории Центральной и Южной Азии

В таблице 2 приведены сведения о сейсмических станциях ИГИ, зарегистрировавших подземные ядерные взрывы, параметрах этих взрывов по данным Геологической службы США (USGS) [3] и диапазоне эпицентральных расстояний.

На рисунке 2 представлены сейсмические записи ПЯВ, произведенного 1 октября 1995 г. Францией на атолле Фангатауфа, все сейсмические станции ИГИ находятся на телесеismicких расстояниях 15459–16546, пролокализовать ПЯВ из этого региона, пользуясь данными только сети ИГИ, работавшими в то время, невозможно, для локализации необходимо использовать дополнительные данные глобальных сейсмологических сетей.

Таблица 2. Параметры ядерных взрывов, зарегистрированных сетью ИГИ

Дата	Время	Широта	Долгота	Полигон	mb	Станции, зарегистрировавшие ПЯВ	$\Delta$ , км	Азимут станция-ПЯВ
10/07/1994	3:25:58.100	41.662	88.753	Лобнор	6.0	BRVK, CHK, KUR, MAK, VOS, ZRN	785-2540	100.6-138.5
5/15/1995	4:05:57.800	41.603	88.820	Лобнор	6.1	BRVK, AKT	1285-2549	100.8-137.7
8/17/1995	0:59:57.700	41.559	88.800	Лобнор	6.0	BRVK, CHK, AKT, KURK, VOS, ZRN	782-2535	100.7-134.6
9/05/1995	21:29:58.400	-21.852	-138.844	Муруроа	4.8	AKT, CHK, KUR, BRVK, TLG, VOS, ZRN	15681-16501	31.0-66.1
10/01/1995	23:29:57.900	-22.250	-138.745	Фангатауфа	5.4	AKT, BRVK, CHK, KUR, MAK, TLG, VOS, ZRN	15459-16546	31.1-67.3
10/27/1995	21:59:58.100	-21.891	-138.983	Муруроа	5.4	AKT, BRVK, CHK, KURK, TLG, VOS, ZRN	15678-16500	31.3-66.2
11/21/1995	21:29:58.000	-21.879	-139.032	Муруроа	4.8	AKT, BRVK, KURK, TLG, VOS, ZRN	15725-16497	31.2-66.2
12/27/1995	21:29:58.000	-21.881	-138.973	Муруроа	5.1	BRVK, KURK, TLG, ZRN	15808-16499	31.2-66.2
1/27/1996	21:29:57.700	-22.236	-138.815	Фангатауфа	5.3	AKT, BRVK, CHK, KURK, TLG, VOS, ZRN	15721-16542	31.2-48.3
6/08/1996	2:55:57.900	41.657	88.690	Лобнор	5.9	AKT, BRVK, CHK, KURK, MAK, TLG, VOS, ZRN	794-2539	122.5-134.3
7/29/1996	1:48:57.800	41.824	88.420	Лобнор	4.9	AKT, BRVK, CHK, MAK, TLG, VOS	754-2507	100.6-134.9
5/11/1998	10:13:41.70	27.105	71.802	Похаран	5.2	BRVK, ZRNK, MAKZ, PDG, TLG, VOS, ZRN	1862-2958	174.4-197.1
5/28/1998	10:16:15.20	28.902	64.789	Чагай	4.8	BRVK, CHK, KUR, MAKZ, PDG, TLG, VOS, ZRN	1943-2803	188.7-218.3
5/30/1998	06:54:54.9	28.49	63.73	Чагай	4.8	BRVK, CHK, KUR, MAKZ, PDG, TLG, VOS, ZRN	2034-2854	191.1-220.8
10/09/2006	01:35:28.0	41.294	129.094	Пунгери	4.3	KUR, ZRNK, VOS, CHKZ, BRVK, ABKAR	3746-5310	72.1-85.1
05/25/2009	00:54:43.3	41.306	129.029	Пунгери	4.7	MKAR, KURK, KUR, VOS, BRVK, BVAR, ZRNK, ABKAR, AKTO, CHKZ, KNDC, KKR	3746-5310	72.1-85.2
02/12/2013	02:57:51.4	41.308	129.076	Пунгери	5.1	ABKAR, AKTO, BRVK, BVAR, KKR, KURK, KUR, MAKZ, MKAR, OTUK, PDGK, KNDC	3746-5401	72.2-89.8
06/01/2016	01:30:01.5	41.308	129.049	Пунгери	5.1	AKTO, ABKAR, BRVK, BVAR, KKR, KUR, KURK, KNDC, MAKZ, MKAR, OTUK, PDGK	3726-5373	71.9-85.3
09/09/2016	00:30:02	41.3230	128.9870	Пунгери	5.3	AKTO, ABKAR, BRVK, BVAR, KKR, KUR, KURK, MAKZ, MKAR, OTUK, PDGK	3746-5401	71.9-85.3

Рисунок 2. Сейсмограммы ПЯВ (Фангатауфа) 1 октября 1995 г.,  $t_0=23-29-57.9$ ,  $\varphi=-22.25^\circ$ ,  $\lambda=-138.745^\circ$  Z-компонента. Фильтр 1.25 Гц

На рисунке 3 представлены сейсмические записи ПЯВ, произведенного 7 октября 1994 г. Китаем на полигоне Лобнор, сейсмические станции ИГИ находятся в диапазоне эпицентральных расстояний 785–2540 км. Для оценки возможности сети мониторинга ИГИ была проведена локализация событий из района испытательного полигона Лобнор. На рисунке 4 приведен пример локализации, решение близко к параметрам, определенным Международными Центрами

ми данных, эллипс ошибок сравнительно небольшой  $smajax=53.4$  км,  $smimax=9.2$  км. В таблице 3 приведены параметры локализации событий из района испытательного полигона Лобнор и решений Международных сейсмологических Центров, самых надежных на тот период времени. Результаты по полигону Лобнор были бы гораздо точнее, если бы во время функционирования ядерного полигона Лобнор работали сейсмические группы.

Таблица 3. Данные разных источников о локализации эпицентров ПЯВ из района Лобнор

Дата	Параметры взрыва	USGS	ISC	ГС РАН	Kaznet
10.07.1994	Время в очаге	03:25:58.1	03:25:57.9	03:25:57.9	03:25:57.4
	Широта	41.6620	41.5782	41.55	41.937
	Долгота	88.7530	88.7670	88.80	88.999
	mb	6.0	5.9	5.8	5.5
05.15.1995	Время в очаге	04:05:57.8	04:05:57.9	03:25:57.9	—
	Широта	41.603	41.5899	41.5800	—
	Долгота	88.8200	88.8169	88.8600	—
	mb	6.1	6.0	6.1	—
08.17.1995	Время в очаге	00:59:57.7	00:59:57.93	00:59:57.7	00:59:54
	Широта	41.5590	41.5634	41.51	41.486
	Долгота	88.8000	88.7913	88.77	89.247
	mb	6.0	5.9	5.9	5.4
08.06.1996	Время в очаге	02:55:57.	02:55:57.9	02:55:57.9	02:55:53
	Широта	941.657	41.6021	41.600	41.397
	Долгота	88.690	88.6615	88.63	89.270
	mb	5.9	5.8	5.8	5.6
29.07.1996	Время в очаге	01:48:57.8	01:48:57.6	01:48:57.8	01:48:59
	Широта	41.824	41.7105	41.77	41.863
	Долгота	88.420	88.3314	88.43	88.361
	mb	4.9	4.7	5.0	5.0

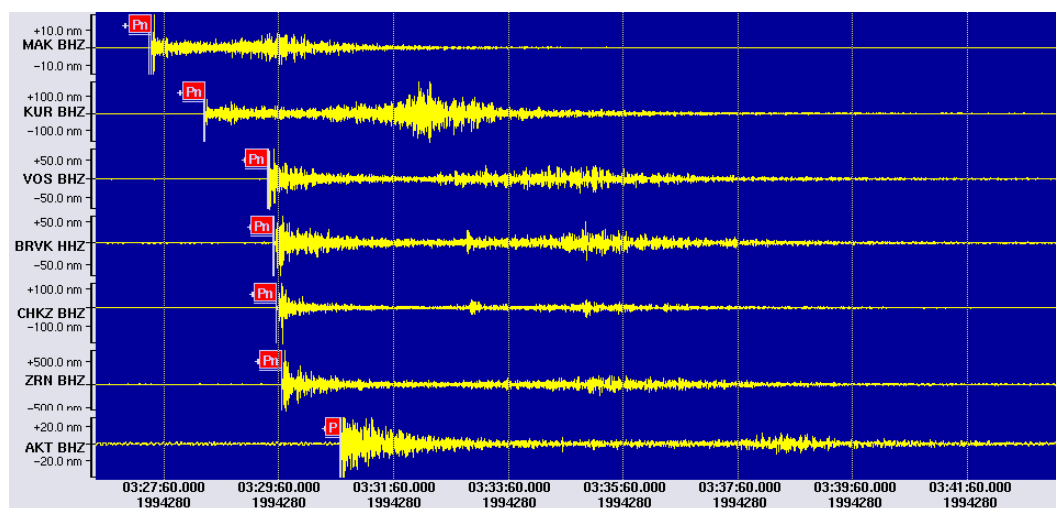
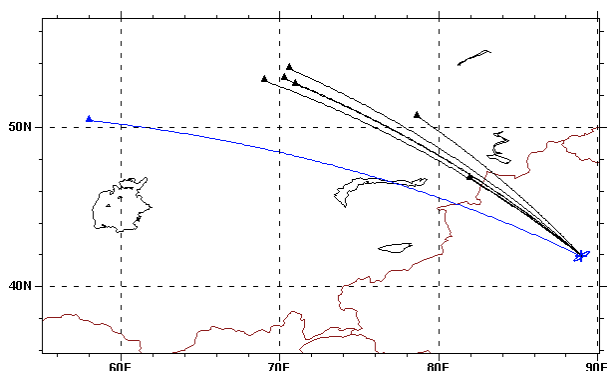
Рисунок 3. Сейсмограммы ПЯВ (Лобнор) 7 октября 1994 г.,  $t_0=03-25-58.1$ ,  $\varphi=41.662^\circ$ ,  $\lambda=88.753^\circ$ . Z-компонента. Фильтр СКМ

Рисунок 4. Результат локализации ПЯВ 7 октября 1994 г. по данным сети ИГИ

В работе [6] был проведен детальный анализ кинематических и динамических параметров, подробно исследована волновая картина Индийского

(11.05.1998 г.) и Пакистанского (28.05.1998 г.) взрывов по цифровым данным 8 сейсмических станций Казахстана, находящихся на эпицентральных расстояниях  $16^\circ-26^\circ$  от источников взрывов. На рисунке 5 представлены сейсмограммы ПЯВ произведенного на полигоне Похаран 11 мая 1998 г. Локализация эпицентра Индийского взрыва проведена по данным как совместно с Пакистанской станцией NIL, так и только по казахстанской сети (таблица 4) [6]. Результаты сопоставлены с данными, приводимыми в каталогах REB и USGS. Различие в определениях эпицентра составляет для Индийского взрыва 7–12 км. На том же полигоне Индия провела ядерное испытание 13 мая 1998 г. в 06:51, координаты взрыва 27.10 с.ш., 71.80 в.д., взрыв состоял из двух зарядов с суммарной мощностью  $Y=0.8$  кТ [7, 8], этот взрыв не был зарегистрирован ни одной сейсмической станцией мира [8].

На рисунке 6 приведены сейсмограммы ПЯВ, произведенного на Пакистанском полигоне Чагай 28 мая 1998 г. В таблице 5 приведены результаты лока-

лизации по сети ИГИ, различие в определениях эпицентра по отношению к бюллетеню REB и USGS составляет для Пакистанского ПЯВ 22–25 км [6].

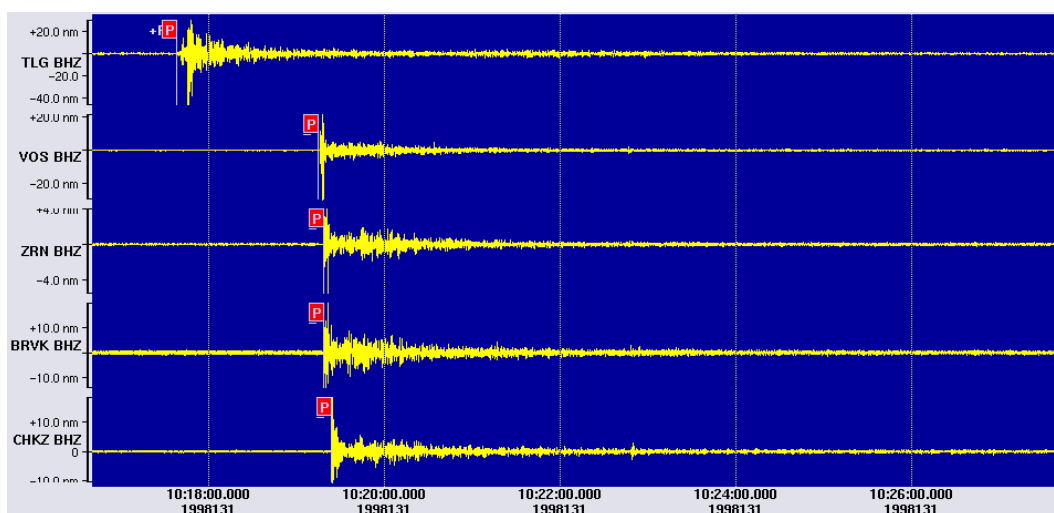


Рисунок 5. Сейсмограммы ПЯВ (Похаран) 11 мая 1998 г.,  $t_0=10-13-41.8$ ,  $\varphi=27.072^\circ$ ,  $\lambda=71.761^\circ$ . Z-компонента. Фильтр 0.6-5 Гц

Таблица 4. Данные разных источников о локализации эпицентра Индийского подземного ядерного взрыва 11 мая 1998 г. [6]

Параметры взрыва	REB	USGS	Kaznet + NIL	Kaznet
Исходное время	10:13:42.0	10:13:42.0	10:13:43.714	10:13:43.121
Широта	27.072N	27.102N	27.098N	27.031N
Долгота	71.761E	71.851E	71.924E	71.947E
			$\Delta_{REB}=16\text{KM}$ . $\Delta_{USGS}=7.5\text{KM}$	$\Delta_{REB}=19\text{KM}$ . $\Delta_{USGS}=12\text{KM}$

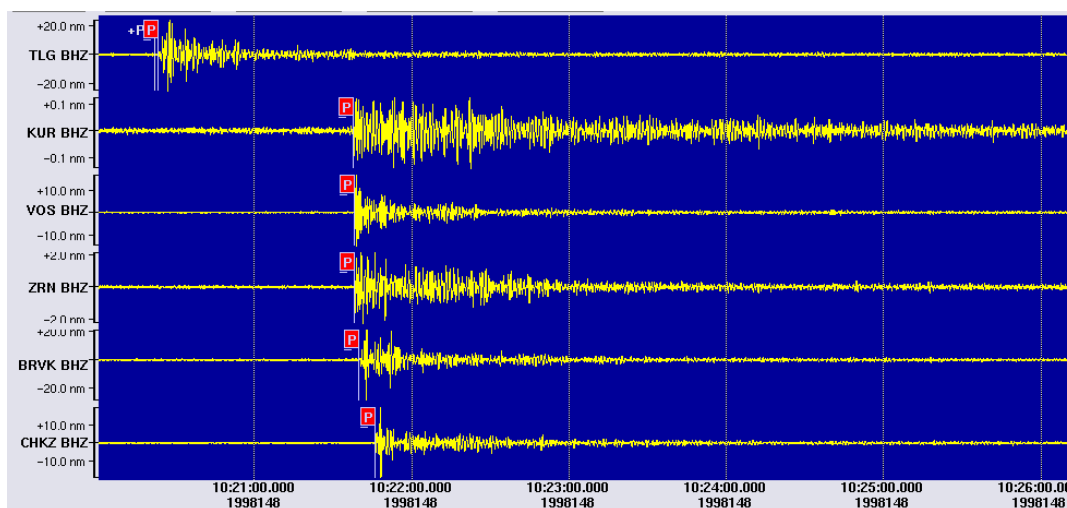


Рисунок 6. Сейсмограммы ПЯВ (Чагай) 28 мая 1998 г.,  $t_0=10-16-15.2$ ,  $\varphi=28.792^\circ$ ,  $\lambda=64.948^\circ$ . Z-компонента. Фильтр 0.6–5 Гц

Таблица 5. Данные разных источников о локализации эпицентра Пакистанского подземного ядерного взрыва 28 мая 1998 г. [6]

Параметры взрыва	REB	USGS	Kaznet
Исходное время	10:16:17.0	10:16:15.2	10:16:18.0
Широта	28.903N	28.862N	28.753N
Долгота	64.893E	64.818E	65.046E
			$\Delta_{REB}=22\text{ KM}$ . $\Delta_{USGS}=25\text{ KM}$



Таблица 6. Данные разных источников о локализации эпицентра северокорейского подземного ядерного взрыва 9 сентября 2016 г.

Дата	Источник	Время в очаге, ч., мин., с.	Широта с.ш.	Долгота в.д.	Кол-во станций	mb	Станции Казахстана, участвовавшие в обработке
09.09.2016	ГС РАН (Россия)	00:29:59	41.3	129.13	19	5.3	АВКАР, BRVK, ККАР, КУРК, МКАР, ОТУК, PDGK.
09.09.2016	NEIC (США)	00:30:02	41.3230	128.9870		5.3	АВКАР, BRVK, ККАР, КУРК, МКАР, ОТУК, PDGK.
09.09.2016	IDC (REB)	00:30:00.87	41.2992	129.0491	97	5.1	АВКАР, BRVK, ККАР, КУРК, МКАР, ОТУК, PDGK.
09.09.2016	EMSC (Франция)	00:30:01	41.32	129.02		5.3	АВКАР, BRVK, ККАР, КУРК, МКАР, ОТУК, PDGK, МАКЗ.
09.09.2016	КНЦД (оперативное решение)	00:30:01.522	41.3808	129.0701	14	4.8	АКТО, АВКАР, BRVK, BVAR, ККАР, КУР, КУРК, МАКЗ, МКАР, ОТУК, PDGK.
09.09.2016	КНЦД (с использованием поправок)	00:30:01.522	41.1910	129.5194	14	4.8	АКТО, АВКАР, BRVK, BVAR, ККАР, КУР, КУРК, МАКЗ, МКАР, ОТУК.

Пакистанский подземный ядерный взрыв 30.05.1998 г. был произведен примерно в 06:54:57, магнитуда события была такой же, как и для ПЯВ 28 мая 1998 г. Однако для него не удалось получить четких сейсмических записей, так как примерно за полчаса до него в пограничном районе Афганистан - Таджикистан произошло сильное землетрясение с  $M_s=6.7$  [6]. Факт совпадения начала взрыва с записью афганского землетрясения затруднял обнаружение Пакистанского подземного ядерного взрыва 30.05.1998 г. Тем не менее, локализация записи показала район испытательного полигона Чагай.

Подземные ядерные взрывы на полигонах Лобнор, Муруроа и Фангатауфа, Похаран и Чагай были произведены в 1994–1998 гг., когда Казахская сеть мониторинга была еще на раннем этапе развития, в то время данные еще не поступали в обрабатывающий Центр в режиме реального времени, обрабатывались сотрудниками ИГИ спустя несколько дней.

После создания в 1999 г. КНЦД и запуска сейсмических групп и трехкомпонентных станций в режиме реального времени, была организована круглосуточная обработка данных. Интерактивный сейсмический бюллетень начал создаваться с 2003 г. [1] с использованием мат.обеспечения SEATOOLS. С начала полноценной работы КНЦД, сейсмическая сеть ИГИ зарегистрировала 5 ядерных испытаний на полигоне Пунгери, произведенных КНДР [9–13]. Кинематические и динамические параметры северокорейских ПЯВ 10/09/2006, 05/25/2009, 02/12/2013, 06/01/2016 по данным станций ИГИ подробно описаны в [9–13]. Сейсмические записи станций ИГИ были использованы наряду с данными глобальных сейсмических сетей для определения параметров ПЯВ. Для улучшения результатов обработки проведена перелокализация взрыва, произведенного 6 января 2016 г., после введения азимутальных поправок для сейсмических групп Акбулак, Курчатов-Крест и Маканчи. В результате уточнения параметров, координаты эпицентра взрыва значительно приблизились к решениям Международных Центров данных и к истинному положению штольни [13]. Ниже

представлены результаты обработки пятого Северокорейского ПЯВ, произведенного 9 сентября 2016 г.

На рисунке 7 приведены сейсмограммы ПЯВ 9 сентября 2016 г. по данным сети ИГИ, на рисунке 8 – результат локализации события, на рисунке 9 – положение эпицентра ПЯВ по данным различных Международных сейсмологических Центров. В таблице 6 представлены результаты определения параметров северокорейского события различными международными сейсмологическими центрами с использованием данных казахстанских станций [3–5]. Там же представлены и результаты локализации в центре КНЦД, в связи с тем, что станции ИГИ находятся в диапазоне телесеизмических расстояний от полигона Пунгери и в узком створе азимутов точность локализации только по данным казахстанских станций будет ниже, чем при использовании данных глобальных сетей наблюдений. После оперативной обработки сейсмического события, для значительного количества событий проводится уточнение параметров локализации. Для сейсмического события в Северной Корее была проведена перелокализация с использованием азимутальных поправок по станциям, записавшим все 5 взрывов по аналогии с событием 6 января 2016 г. [13]. Однако неожиданно, результат локализации с поправками сместился от истинного положения эпицентра, найденного по космоснимку  $\varphi=41.2810^\circ$ ;  $\lambda=129.0854^\circ$  на юго-восток, и оказался дальше, чем оперативное решение. Магнитуда ПЯВ 9 сентября, рассчитанная по данным сети ИГИ, выше чем для предыдущих взрывов [13], составила  $m_b=4.8$ . Значение магнитуды получилось ниже, чем для Международных сейсмологических центров (таблица 6), по сравнению с решением NEIC USGS разница  $\delta m_b=0.5$ , что согласуется с данными предыдущих взрывов  $\delta m_b=-0.4 \div -0.7$  [13].

В таблице 7 приведено сравнение амплитуд колебаний по трем компонентам для пяти ядерных испытаний по станциям Акбулак и Маканчи, которые зарегистрировали все 5 северокорейских ПЯВ. На рисунке 10 приведено сравнение амплитуд колебаний по Z компоненте для пяти ядерных испытаний КНДР по станциям Акбулак и Маканчи.

Таблица 7. Сравнение амплитуд колебаний по трем компонентам для пяти ядерных испытаний по станциям Акбулак и Маканчи

Станции	1 взрыв, 2006 год			2 взрыв, 2009 год			3 взрыв, 2013 год			4 взрыв, 2016 год			5 взрыв, 2016 год		
	N, nm	E, nm	Z, nm	N, nm	E, nm	Z, nm	N, nm	E, nm	Z, nm	N, nm	E, nm	Z, nm	N, nm	E, nm	Z, nm
ABKAR	0,5	0,5	0,8	1,0	2,1	3,4	1,8	6,1	8,4	1,4	3,7	5,2	1,3	9,5	16,7
MKAR	0,3	0,1	0,4	1,5	1,4	1,8	1,6	4,0	6,2	0,9	3,7	6,9	1,2	5,3	7,7

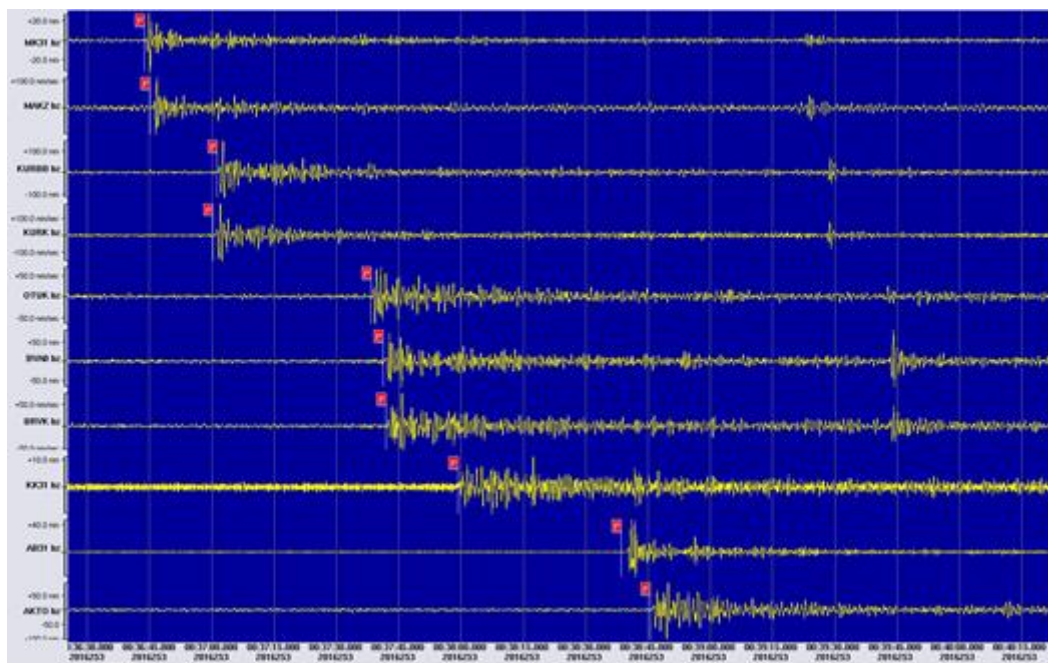


Рисунок 7 Сейсмограммы ПЯВ (Пунгери) 9 сентября 2016 г.,  $t_0=00:30:02$ ,  $\varphi=41.281^\circ$ ,  $\lambda=129.0854^\circ$ . Z-компонента

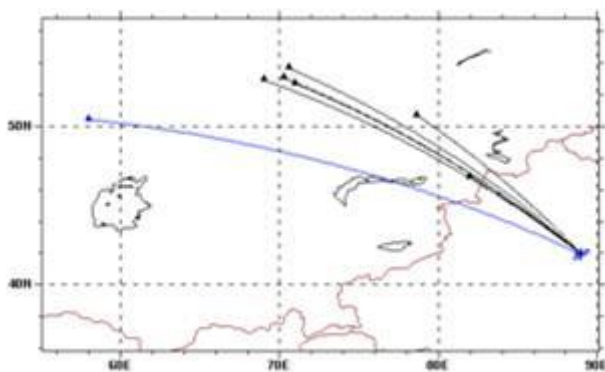


Рисунок 8. Система наблюдения и результат перелокации Северо-Корейского взрыва 9 сентября 2016 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, сейсмические станции ИГИ, расположенные на территории Казахстана, зафиксировали 5 подземных ядерных испытаний из района испытательного полигона Лобнор, 6 ПЯВ из района полигона Муруроа, один из района индийского полигона Похран, 2 из района Чагай, и пять ПЯВ из района испытательного полигона Пунгери.



Рисунок 9. Координаты 5-го Северо-Корейского взрыва 9 сентября 2016 г. по данным различных международных центров

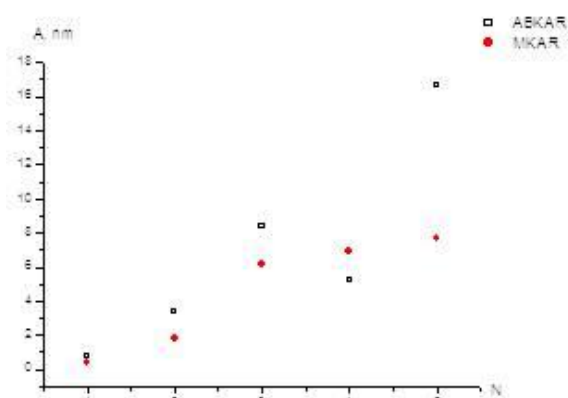


Рисунок 10. Сравнение амплитуд колебаний по Z компоненте для пяти ядерных испытаний КНДР по станциям Акбулак и Маканчи

Данные казахстанских сейсмических станций передаются во многие Международные сейсмологические центры и совместно обрабатываются с данными других станций мира с привлечением более эффективных средств, что приведет к большей надежности контроля за выполнением Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний. Определение параметров ПЯВ с использованием данных только сети ИГИ, позволяет с неплохой точностью определить местоположение взрыва, время в очаге, а также динамические параметры взрывов для испытательных полигонов Лобнор, Похаран, Чагай и Пунгери.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлова, Н.Н. Казахская система мониторинга Института геофизических исследований Национального ядерного центра и ее возможности / Н.Н. Михайлова, З.И.Синева, И.Н.Соколова // Сейсмопрогностические наблюдения на территории Азербайджана // РЦСС НАНА. – 2012. – С. 329–336.
2. Михайлова, Н.Н. Спектральные характеристики сейсмического шума по данным Казахских станций мониторинга. / Н.Н. Михайлова, И.И. Комаров // Вестник НЯЦ РК. – 2006. – Вып. 2. – С. 19–26.
3. [Электронный ресурс]://<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic>
4. [Электронный ресурс]://<http://www.isc.ac.uk>
5. [Электронный ресурс]://<http://www.emsc-csem.org>
6. Михайлова, Н.Н. Индийский и Пакистанский подземные ядерные взрывы 1998г. по данным казахстанской сейсмической сети наблюдений / Н.Н.Михайлова, И.И. Комаров, З.И. Синева // Геофизика и проблемы нераспространения // Вестник НЯЦ РК. – 2000. – Вып. 2. – С. 53–64.
7. [Электронный ресурс]://<http://www.johnstonsarchive.net/nuclear/tests>.
8. Wallace, T.C. The May 1998 India and Pakistan nuclear tests / T.C.Wallace // Seism. Res. Lett., 69, 386–393, 1998.
9. Михайлова, Н.Н. Северокорейское ядерное испытание 9 октября 2006 г. по данным Казахской и глобальной систем мониторинга / Н.Н. Михайлова, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. – 2008. – Вып. 1. – С. 17–26.
10. Михайлова, Н.Н. Северокорейское ядерное испытание 25 мая 2009 г. по данным казахстанской системы мониторинга / Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК. – 2009. – Вып. 3. – С. 17–21.
11. Соколова, И.Н. О сейсмическом событии 6 января 2016 года в районе Северной Кореи / И.Н. Соколова, Н.Н. Михайлова // Вестник АО КАЗНИИСА. Наука. – 2016. – № 3. – С. 30–39.
12. Сейнасинов, Н.А. Сопоставление записей трех северо-корейских ядерных испытаний по данным казахстанских станций / Н.А. Сейнасинов, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК. – 2014. – Вып. 1. – С. 117–124.
13. Узбеков, Р.Б. Ядерное испытание в Северной Корее в 2016 году / Р.Б. Узбеков, Н.А. Сейнасинов // Вестник НЯЦ РК. – 2016. – Вып. 4. – С. 85–92.

#### ҚР ЭМ ГЗИ СЕЙСМИКАЛЫҚ ЖЕЛІСІМЕН ЯДРОЛЫҚ СЫНАҚТАРДЫ ТІРКЕУ

Р.Б. Узбеков, Н.А. Сейнасинов

*Геофизикалық зерттеулер институты, Құрчатов, Қазақстан*

Мақалада Пунгери, Лобнор, Муруроа, Похаран, Чагай полигондарында өткізілген жерасты ядролық жарылыстарының сипаттамалары, оқиғаның магнитудасын және көзінің координаталарын дәл бағалауға мүмкіндік беретін, олардың қазақстандық станцияларындағы жазбаларының параметрлері талданады. ГЗИ РМК сейсмикалық станциялары желілерінің тиімділігі және аймақтық, телесеисмикалық қашықтықтардағы ядролық сынақтардың мониторингіне Қазақстанның қосқан үлесі көрсетілген.

**RECORDING OF NUCLEAR TESTS BY SEISMIC NETWORK OF IGR ME RK**

**R.B. Uzbekov, N.A. Seinassinov**

*Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

The paper analyzes characteristics of underground nuclear tests carried out on Punggye-ri, Lop Nor, Moruroa, Pokhran, and Chagai test sites, parameters of their records on Kazakhstan stations, which allow to estimate coordinates of the origin and event's magnitude more precisely. Effectiveness of the seismic stations network of RSE IGR as well as the contribution of Kazakhstan into the monitoring of nuclear tests at regional and teleseismic distances has been demonstrated.

## СПИСОК АВТОРОВ

- Айдарханов А.О., 5  
Айдарханова А.К., 67  
Актаев М.Р., 5, 81  
Бахтин Л.В., 43  
Гарбуз Ю.В., 23  
Гизатулин Ш.Х., 95  
Горбунова Э.М., 43  
Горин Н.В., 110  
Губицкая Е.Г., 52  
Дубровин В. И., 118  
Зеленский К.Л., 34, 43, 71, 81  
Каиржанов А.Е., 91  
Кенжин Е.А., 95  
Кириллова Т.Г., 9  
Койгельдинова М.Т., 9  
Корнеев А.А., 110  
Корнеева С.В., 71  
Ларионова Н.В., 81  
Липилина Е.Н., 110  
Лукашенко С.Н., 5, 9, 14, 23,  
34, 58, 67
- Ляхова О.Н., 5, 67  
Максимкин О.П., 102  
Мельничук М.А., 34, 71, 81  
Михайлова Н.Н., 118, 124  
Мукамбаев А.С., 124  
Мухамедияров Н.Ж., 9  
Накипов Д.А., 95  
Новикова Е.А., 43  
Омарханова А.О., 91  
Осинцев А.Ю., 23  
Паницкий А.В., 58  
Пачурин Д.В., 110  
Пилюгина А.Л., 52  
Пронин С.С., 81  
Романенко В.В., 14, 23, 34, 71,  
81  
Романова Н.К., 95  
Рыкова В.В., 30  
Садыков Р.А., 14  
Сейнасинов Н.А., 131  
Стародумова И.Г., 110
- Стрильчук Ю.Г., 58, 91  
Субботин С.Б., 14, 34, 43, 71,  
81  
Супрунов В.И., 14, 34, 81  
Ташекова А.Ж., 9  
Темиржанова А.Е., 9  
Турченко Д.В., 67  
Тюрин В.М., 71  
Узбеков Р.Б., 131  
Умаров М.А., 23  
Чакров П.В., 95  
Чередниченко О.Г., 52  
Чуриков Ю.И., 110  
Шаймерденов А.А., 95  
Шатров А.Н., 23, 58  
Шмаков Д.В., 110  
Яковенко Ю.Ю., 58  
Яровчук А.В., 102

---

## 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 А4 (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 подписанных 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 аннотация к статье на русском языке, ключевые слова и основной текст. В конце статьи, после списка литературы, повторяются блоки «название, авторы, организации, аннотация, ключевые слова» на казахском и английском языке.

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 ключевых слов, 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 А4. 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 разрешением 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:**

- 2 рецензии высококвалифицированных специалистов (докторов 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. В.А. Витюк  
тел. (722-51) 3-33-35, E-mail: VITYUK@NNC.KZ

**Технический редактор** И.Г. Перепелкин  
тел. (722-51) 3-33-33, E-mail: IGOR@NNC.KZ

---

**Адрес редакции:** 071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Красноармейская, 2, зд. 054Б  
<http://old.nnc.kz/zhurnalvestnik.html>

---

© Редакция журнала «Вестник НЯЦ РК», 2017

---

**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

