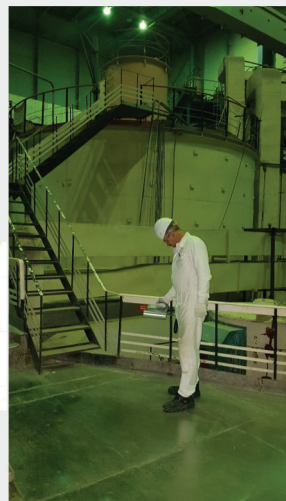
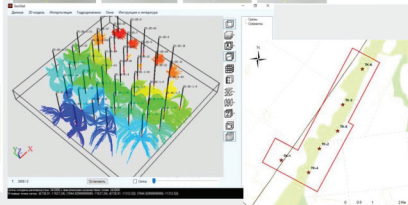
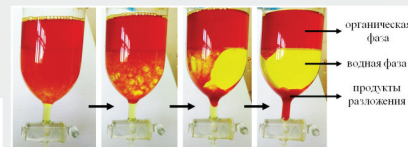
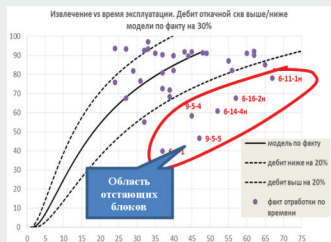
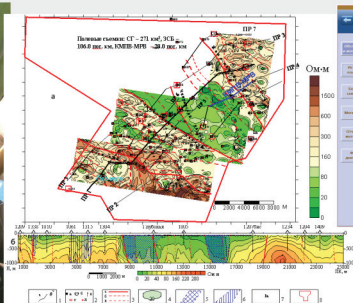
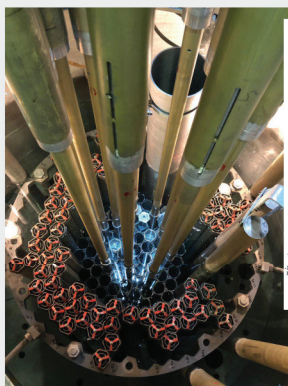




# ЯДЕРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ Республики Казахстан

выпуск 14





# ЯДЕРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАЗАХСТАНА

сборник докладов 15-ого молодежного семинара  
молодых специалистов предприятий  
ядерной отрасли Республики Казахстан

Ядерный потенциал Республики Казахстан: Сборник докладов, выпуск 14, 2019 / Ассоциация «Ядерное общество Казахстана». — Нур-Султан, 2019, 127 стр.

Семинары «Ядерный потенциал Казахстана» организуются ассоциацией «Ядерное общество Казахстана» ежегодно для молодых специалистов ядерных предприятий. Каждый семинар проходит на базе разных предприятий ядерной отрасли.

Цели и задачи:

- активизация творческой деятельности и поддержка научного и технического творчества молодых ученых и специалистов ядерных предприятий;
- содействие профессиональному росту молодежи, развитию молодежных научных инициатив и закреплению молодых ученых и специалистов на ядерных предприятиях РК;
- представление, защита и реализация профессиональных, интеллектуальных, юридических интересов и прав молодых ученых и специалистов на ядерных предприятиях РК.

На семинарах обсуждаются проблемы уранодобывающей промышленности; производства ядерного топлива; атомной энергии; ядерной физики, радиозекологии, геофизики; юридические, макроэкономические и образовательные аспекты в ядерной отрасли.

В семинарах ежегодно принимают участие представители организаций ядерного профиля: Казатомпром, УМЗ, НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК, ИЯФ РК, ИГИ, Волговгеология, ИВТ, урановых рудников, а также студенты КазНУ им.Аль-Фараби и КазНТУ им.Сатпаева и представители ИРБЭ НЯЦ РК.

По единодушному мнению участников семинары являются весьма полезными, стимулирующими к дальнейшему взаимодействию.

## МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА И СНИЖЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ НА УЧАСТКЕ ПЕРЕРАБОТКИ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ

**Смайлов Б.М., Калиев К.С., Загребин А.К.**  
АО СП «ЗАРЕЧНОЕ», Шымкент, Казахстан

Месторождение «ЗАРЕЧНОЕ» расположено на территории Отрарского района Туркестанской области, на левом берегу реки Сырдарья. Запасы урана составляет 19 тыс. тонн. Добыча урана из продуктивных растворов и выпуск готовой продукции в виде «желтого кека» начаты в мае 2007 года. Проектная мощность – 1 000 тонн руды в год.

Метод производства:

1. подземное скважинное выщелачивание (ПСВ) урана серноокислотными растворами;
2. сорбционное извлечение уранил-сульфатных ионов из ПР на сильноосновных анионитах с последующей десорбцией для получения товарного десорбата;
3. осаждение солей урана из товарного десорбата путём нейтрализации кислых растворов каустической содой (NaOH) с последующей фильтрацией полученной пульпы и выпуском готовой продукции в виде химического концентрата природного урана – «ХКПУ».

На сегодняшний день компания имеет многолетний опыт в данной отрасли и 400 высококвалифицированных специалистов.

Генеральным директором компании АО КРК СП «ЗАРЕЧНОЕ» является: Маркенабаев Жумагали Джуматаевич.

### АННОТАЦИЯ

С целью снижения удельных затрат и оптимизации производства на Участке переработки продуктивных растворов (УППР) Рудника ПСВ АО СП «ЗАРЕЧНОЕ» были разработаны и внедрены следующие изменения и дополнения в аппаратную схему и конструкции технологического оборудования.

На сорбционном переделе переработки продуктивных растворов:

1. Описание недостатков: выгрузка ионита из колонн СНК-3М производится через мерник сорбента и скважины, что в свою очередь увеличивает время выгрузки смолы из колонн, также несёт механическую нагрузку на ионообменную смолу.

Техническое решение: для сокращения времени выгрузки насыщенного сорбента из колонн типа СНК-3М, сооружена отдельная линия транспортировки насыщенного сорбента (труба ПНД Ду=160 мм) в колонну отмывки.

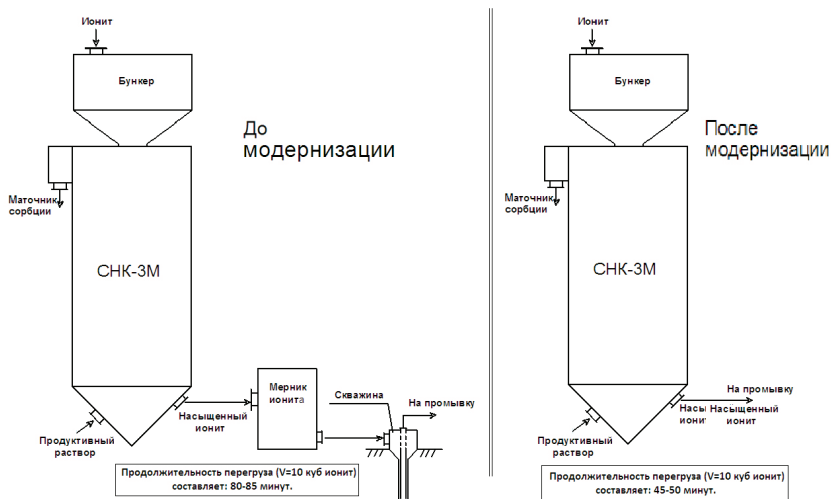


Рисунок 1. Аппаратурно-технологическая схема сорбционного передела до и после модернизации

Результат внедрения: сокращение временного цикла выгрузки насыщенного сорбента и снижение механической нагрузки на ионообменную смолу.

Дополнительная автоматизация процесса сорбции:

1. Индивидуальный учет расхода продуктивных растворов по сорбционным колоннам.
2. Автоматическое регулирование и контроль подачи растворов по заданным технологическим параметрам.
3. Автоматическая остановка подачи продуктивных растворов в колонны при аварийных ситуациях.
4. Автоматическая загрузка и выгрузка ионита сорбционных колонн.
5. Архивация всех технологических параметров сорбции на длительный срок.

На переделе десорбции ионита:

1. Описание недостатков: аэрлифтная линия перекачки смолы по цепочке колонн типа ДНК располагалась в центре колонн исполненная из трубопровода н/ж Ду=100 мм. Данный вид конструкции аппарата не мог в достаточной мере обеспечить необходимый цикл перегрузов ионообменной смолы и увеличения производительности перекачки смолы по цепочке регенерации. Так же данный тип колонн имел растворные аэрлифты из н/ж стали Ø50 мм, которые так же снижали пропускную способность технологических растворов.

Техническое решение: для обеспечения необходимого объема переработки ионообменной смолы из десорбционной напорной колонны, смонтирована наружная линия перекачки ионита Ø Ду=160 мм из трубы ПНД. В связи с увеличением производительности цепочки регенерации в части переработки ионита, увеличился объем транспортируемых технологических растворов по

переделу десорбции, в связи с этим для большей производительности растворные аэролифты из н/ж стали  $\varnothing 50$  мм заменены на трубы н/ж  $\varnothing 100$  мм.

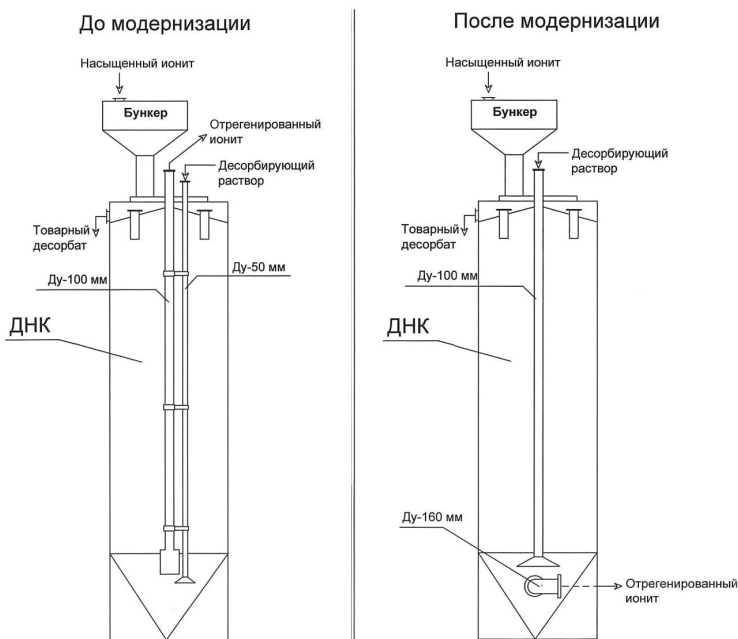


Рисунок 2. Аппаратурно-технологическая схема десорбционного передела до и после модернизации

Результат внедрения: данная модернизация позволила увеличить объем перерабатываемого насыщенного ионита, увеличить объем подачи десорбирующего раствора, повысить производительность аэролифтов. Что в итоге позволило настроить процесс десорбции в дискретном режиме.

2. Описание недостатков: высокие удельные нормы расхода химических реагентов.

а) Отсутствие оборудования для отделения раствора с наибольшим содержанием урана в ёмкость для сбора товарного десорбата, а растворы с меньшей концентрацией урана при этом направляются в колонну донасыщения ионита.

Техническое решение: установка концентратомера «Карат-2» с целью контроля качества товарного десорбата, разделения бедной и богатой товарной фракции, а так же для автоматизации процесса десорбции.

Результат внедрения: установка концентратомера «Карат-2» обеспечила вывод балансового количества урана из технологической схемы переработки продуктивных растворов в готовый продукт диуранат натрия, по качеству соответствующий техническим условиям предъявляемым к ЖКПУ.

б) Нестабильность температуры десорбирующих растворов в осенне-зимний период.

Техническое решение: Для поддержания необходимой температуры технологических растворов внутри ёмкостей для приготовления десорбирующего раствора был смонтирован теплообменник в форме змеевика из трубы н/ж Ду=100 мм, и для предотвращения потерь тепла ёмкости обёрнуты теплоизоляционным материалом из фольгированной минеральной ваты.

Результат внедрения: После модернизации ёмкостей была достигнута требуемая стабильная температура технологических растворов, что обеспечило снижение удельных норм химических реагентов на десорбции.

Таблица 1. Удельные нормы химических реагентов

Наименование	Удельные нормы			
	Ед.изм.	План утв. на 2018г	Факт. на 2018г	%, к утв. плану
Серная кислота на переработку	кг/кг ХКПУ	0,70	0,49	70
Селитра аммиачная	кг/кг ХКПУ	2,65	2,30	86,8
Сода каустическая	кг/кг ХКПУ	0,65	0,45	69,2

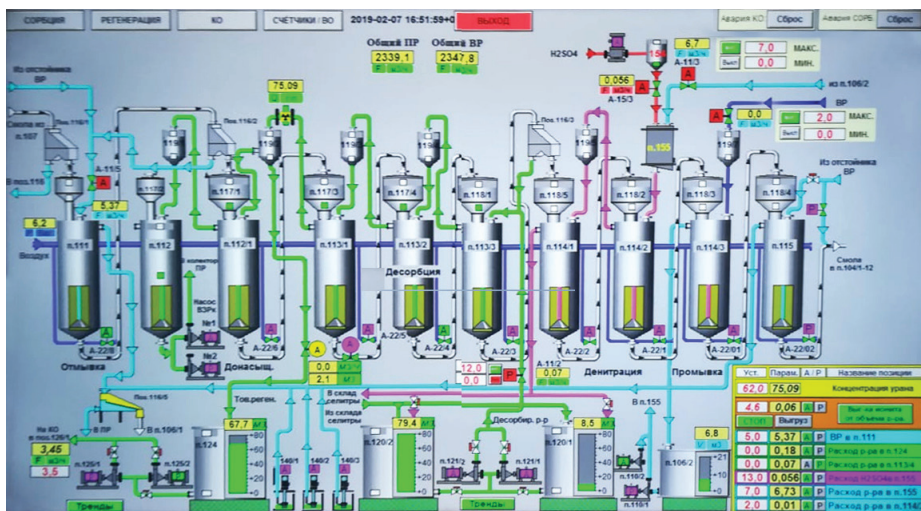


Рисунок 3. Аппаратурно-технологическая схема процесса регенерации ионита



Дополнительная автоматизация процесса десорбции:

1. Автоматический контроль технологического процесса по заданным параметрам.
2. Автоматический вывод товарного десорбата от установленной концентрации урана.
3. Автоматическое управление подачей растворов от заданного технологического параметра.
4. Контроль и учет за объемами передвигаемого ионита по цепочке десорбции.
5. Автоматическое отключение подачи десорбирующих растворов на время передвижки ионита по колоннам десорбции.
6. Отбор товарного регенерата для каскада осаждения и колонн донасыщения в автоматическом режиме.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате внедрения описанных выше мероприятий устранены основные проблемные вопросы, оптимизированы основные технологические процессы, снижены удельные нормы химических реагентов и энергетических затрат на участке переработки продуктивных растворов, а также улучшились условия труда.

## **ВОВЛЕЧЕНИЕ СОДОВЫХ РЕЭКСТРАКТОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПЕРЕРАБОТКИ СКРАПОВ**

*Болтанов А.В., Корнилович М.В., Русин Ю.Г.,  
Ярошенко Н.Н., Дорн А.А.*

АО «УМЗ», Усть-Каменогорск, Казахстан

В настоящее время на всей территории Республики Казахстан остро стоят вопросы по улучшению радиационной обстановки и исключению вредного воздействия утилизируемых радиоактивных веществ и отходов на население и окружающую среду. В связи с этим в АО «УМЗ» действует экологическая политика, направленная на постоянное снижение количества образуемых жидких радиоактивных отходов.

В аффинажной технологии уранового производства АО «УМЗ» в качестве экстрагента используют 25÷30 % ТБФ в разбавителе. Процесс регенерации экстрагента традиционно ведут раствором карбоната натрия с концентрацией 10÷25 г/л. В ходе регенерации, в содовый промывной раствор из органической фазы переходят продукты гидролиза и радиолитиза ТБФ моно- и дибутилфосфаты и связанный с ними уран. При снижении концентрации  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в промывном растворе менее 10 г/л, процесс регенерации утрачивает свою эффективность и для восстановления необходимой динамики процесса требуется замена регенерирующего раствора в контуре. Вывод отработанного содового раствора (далее содовый реэкстракт), как правило, проводят 2 раза в сутки, в результате чего, образуются значимые объемы ЖРО, и проблема их переработки на сегодняшний день продолжает оставаться актуальной.

В настоящее время содовые реэкстракты аффинажного процесса технологий переработки урансодержащих материалов в урановом производстве АО «УМЗ» перерабатывают путем осаждения черновой аммонийной соли. Альтернативным подходом к рассматриваемой проблеме является возврат содовых промывных растворов в действующую аффинажную технологию путем их вовлечения на стадии растворения технологических скрапов. Однако возврат содового реэкстракта в действующую технологию может быть затруднен созданием условий повторного контакта экстрагента с удаленными продуктами разложения.

Для решения поставленной задачи, в лаборатории ядерно-топливного цикла Научного Центра были проведены научно-исследовательские работы по определению возможности вовлечения содовых реэкстрактов в технологию переработки технологических скрапов без негативного влияния на технологические параметры экстракционного аффинажа и качество готовой продукции.

На первом этапе исследований определяли влияние содовых реэкстрактов вовлеченных в процесс растворения технологических скрапов на технологические параметры экстракционного аффинажа урана. При проведении экспериментов использовали пробы цеховых содовых реэкстрактов технологий переработки сырья ГФУ, скрапов собственного производства с содержанием  $\text{U}_{235}$  3,0 % масс, скрапов фирмы «GNF». Отобранные пробы были проанализированы на содер-

жание фосфора, урана и соды. Содержание фосфора в растворах находилось в диапазоне значений  $0,007 \div 0,014$  г/л, урана -  $0,365 \div 0,970$  г/л, соды  $< 2,0$  г/л.

На основе отобранных проб содовых реэкстрактов приготовили азотнокислые выщелачивающие агенты и растворили в них технологические отходы в виде порошков закиси-окиси урана. Полученные растворы с содержанием U -  $97,0 \div 100,0$  г/л,  $\text{HNO}_3$  -  $104,0 \div 113,0$  г/л проверили на пригодность к экстракционному аффинажу посредством тестов на «эмульгируемость» и «экстрагируемость» путем контакта с цеховой регенерированной органической фазой с содержанием урана -  $0,25$  г/л. Критериями оценки пригодности служили показатели: время продолжительности деления фаз, состояние границы раздела и степень экстрагируемости урана.

В качестве реперного варианта использовали раствор уранилнитрата, полученный путем растворения закиси-окиси урана в азотнокислом растворе, приготовленном на воде с содержанием U -  $103,0$  г/л,  $\text{HNO}_3$  -  $104,0$  г/л.

Результаты тестов на «эмульгируемость» показали, что продолжительность деления фаз при экстракции урана из азотнокислых растворов, приготовленных на содовых реэкстрактах, на всех трех контактах не превышало 3 минуты. Образования эмульсий и бород на границах раздела фаз отмечено не было.

При проведении тестов на «экстрагируемость» растворов уранилнитрата приготовленных с использованием цеховых содовых реэкстрактов содержания массовой концентрации урана в рафинатах соответствовали установленным пределам ( $< 0,015$  г/л) и находились в диапазоне численных значений  $0,008 \div 0,014$  г/л.

Для определения влияния содового реэкстракта в составе исходных аффинажных растворов на качество получаемой продукции, растворы после экстракционного аффинажа проанализировали на содержание фосфора, затем из них изготовили порошки закиси-окиси урана и проверили на соответствие требованиям технической документации по количеству химических примесей. Содержание фосфора в полученных реэкстрактах не превышало требуемые нормы ( $< 0,015$  г/л) и составляло  $0,012$  г/л. Результаты аналитического контроля порошков закиси-окиси урана приведены в таблицах 1 и 2.

**Таблица 1. Содержание примесей в пробах порошков  $\text{U}_3\text{O}_8$  из сырья ГФУ**

Наименование элементов	Норма технической документации, мкг/г U	Разбавители азотной кислоты	
		Промышленная вода	Содовый реэкстракт переработки сырья ГФУ
Al	794 мкг/г U в сумме	10,8	10,3
Ca		94	120
Mg		$< 10,0$	$< 10,0$
Si		12,8	44
Сумма, мкг/г U		117,6	174,3

Ti	≤851 мкг/г U в сумме	< 0,5	0,56
Al		10,8	10,3
Ca		94	120
Mg		<10,0	<10,0
Si		12,8	44
Сумма, мкг/г U		118,1	179,9
Cr	≤454 мкг/г U в сумме	< 1,0	1,03
Fe		< 10,0	14
Ni		< 0,5	< 0,5
Сумма, мкг/г U		11,5	15,53
Cr	≤567 мкг/г U в сумме	< 1,0	1,03
Fe		< 10,0	14
Ni		< 0,5	< 0,5
Mo		< 0,5	< 0,5
Сумма, мкг/г U		12,0	16,03
Zn	23	< 3,0	3,4
N	85	< 5,0	< 5,0
C	113	36	22

**Таблица 2. Содержание примесей в пробах порошков  $U_3O_8$  из скрапов собственного производства с содержанием  $U_{235}$  3,0 % масс и фирмы «GNF»**

Наименование элементов	Норма технической документации, мкг/г U	Разбавители азотной кислоты		
		Промышленная вода	Содовый резкстракт переработки скрапов собственного производства с содержанием $U_{235}$ 3,0 % масс	Содовый резкстракт переработки скрапов фирмы «GNF»
Al	78	53	58	67
B	0,8	0,5	0,44	0,39
Cd	0,8	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Gd	0,45	0,44	0,42	0,43
Ca	117	< 30	< 30	< 30
Cr	197	< 10	< 10	< 10
Co	45	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cu	79	1,6	< 1	< 1
Dy	0,45	<0,03	<0,03	<0,03

Eu	0,45	<0,03	<0,03	<0,03
Fe	197	< 10	< 10	< 10
Pb	46	< 3	< 3	< 3
Mg	40	5,4	< 3	< 3
Mn	61	< 1	< 1	< 1
Mo	78	< 10	< 10	< 10
Ni	119	< 10	< 10	< 10
Sm	0,64	<0,03	<0,03	<0,03
Si	78	32	17	17
Ag	0,9	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Na	342	6,6	15,7	44
Th	7	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Sn	222	< 0,5	< 0,5	< 0,5
W	23	< 0,5	< 0,5	< 0,5
V	119	< 30	< 30	< 30
Zn	39	25	23	28

Результаты, приведенные в таблицах 1 и 2, показывают, что при использовании содовых реэкстрактов аффинажного процесса технологий переработки рассмотренных урансодержащих материалов в экстракционном цикле получены порошки закиси-оксида урана, соответствующие по содержанию всех рассмотренных химических примесей требованиям технической документации.

Для оценки влияния растворов уранилнитрата, приготовленных с применением содовых реэкстрактов на процесс экстракционного аффинажа, реализуемого в промышленных масштабах и качество готовой продукции, провели промышленные испытания.

Промышленные испытания проводили на действующем оборудовании уранового производства АО «УМЗ». Содовые реэкстракты выведенные из процесса экстракционного аффинажа технологий переработки урансодержащих материалов анализировали на содержание фосфора и направляли на операцию растворения технологических скрапов в растворе азотной кислоты в реактор растворения. Массовая концентрация фосфора в анализируемых пробах находилась в диапазоне численных значений  $0,006 \pm 0,014$  г/л. Растворы, полученные после растворения, направляли на операцию фильтрации на нутч-фильтр. Затем растворы уранилнитрата направляли на экстракционную переработку.

Для оценки влияния раствора уранилнитрата, приготовленного с применением содовых реэкстрактов на эффективность последующей аффинажной операции представители лаборатории ядерно-топливного цикла Научного Центра вели контроль основных технологических параметров процесса и качества порошков оксидов урана.

В ходе проведения мониторинга за процессом экстракционного аффинажа и процесса получения порошков оксида урана ухудшения технологических параметров процесса экстракционного аффинажа и качества порошков оксидов урана, вследствие применения на операции растворения технологических скрапов содовых реэкстрактов технологий переработки сырья ГФУ, скрапов собственного производства с содержанием  $U_{235}$  3,0 % масс и скрапов фирмы «GNF», не зафиксировано.

## ВЫВОДЫ

1. Определено, что вовлечение в технологический процесс переработки технологических скрапов содовых реэкстрактов процессов экстракционной переработки урансодержащих материалов не приводит к ухудшению технологических параметров экстракционного аффинажа полученных растворов уранилнитрата.
2. Порошки оксидов урана, изготовленные из растворов после растворения технологических скрапов с применением содовых реэкстрактов процессов экстракционной переработки сырья ГФУ, скрапов собственного производства с содержанием  $U_{235}$  3,0 % масс, скрапов фирмы «GNF» соответствуют требованиям технической документации.
3. Предложенная технология переработки содовых реэкстрактов процессов экстракционной переработки урансодержащих материалов путем их вовлечения в технологию переработки технологических скрапов позволит снизить объем жидких радиоактивных отходов уранового производства АО «УМЗ» на 5 %, что в свою очередь поспособствует улучшению радиационной обстановки в районе хвостохранилища предприятия.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РГП «ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ» В ОБЛАСТИ РАДИОЭКОЛОГИИ

**Макарова В.А., Севериненко М.А., Глуценко В.Н.**  
РГП «Институт ядерной физики», Алматы, Казахстан

Радиационная экология является одним из основных направлений деятельности Института ядерной физики (ИЯФ), у этого есть серьезные причины. Республика Казахстан является уникальным государством сочетающим свой современный безъядерный статус с серьезным ядерным прошлым. На момент приобретения независимости Казахстан обладал четвертым в мире ядерным военным потенциалом и соответствующей инфраструктурой для его использования, от которых он впоследствии добровольно отказался. На территории РК повсеместно расположено большое количество радиационно-опасных объектов различного типа: места проведения ядерных испытаний, исследовательские и энергетические ядерные установки, предприятия и объекты уранодобывающей и перерабатывающей отрасли, нефтепромыслы.

Развитие радиозоологических исследований в ИЯФ было стимулировано, совпавшими по времени, общей настороженностью общественности после Чернобыльской катастрофы и закрытием Семипалатинского испытательного ядерного полигона.

В настоящее время исследования проводятся по следующим направлениям:

- разработка и внедрение методик контроля содержания естественных и искусственных радионуклидов в объектах окружающей среды;
- проведение комплексных обследований загрязненных территорий, создание системы радиационного контроля и мониторинга;
- представление результатов обследований и мониторинга с применением современных ГИС-технологий;
- разработка и внедрение технологии очистки загрязненных территорий и обочудования, в том числе в нефтегазовой промышленности.

Институт Ядерной Физики, одним из основных направлений деятельности которого является разработка и применение ядерно-физических методов анализа объектов окружающей среды, включая минеральное сырье, сохранив за годы развала советского государства интеллектуальный и научный потенциал, сумел за последние годы значительно обновить аппаратно-методическую базу в этой области и приобрести ценный опыт разработки инструментальных методов элементного и радионуклидного анализа. В настоящее время на базе имеющегося спектрометрического и аналитического оборудования в Институте Ядерной Физики создан комплекс ядерно-физических методов анализа, включающий такие методы элементного анализа, как нейтронно-активационный анализ, рентгенофлуоресцентный анализ, масс-спектрометрический анализ на индуктивно-связанной плазме. А также комплекс инструментальных и радиохимических методов анализа радионуклидного и изотопного состава.

Институт обладает лицензиями на право проведения работ в области радиоэ-

кологии, располагает необходимыми техническими средствами для проведения широкого комплекса аналитических исследований в области прикладной ядерной физики, имеет в своем составе специализированные лаборатории и квалифицированные кадры. В ИЯФ внедрена интегрированная система менеджмента качества в соответствии с международными стандартами. Центр комплексных экологических исследований аккредитован в национальной системе.

Качество выполняемых анализов подтверждено успешным участием во многих международных межлабораторных сравнениях и профессиональных тестах, организованных МАГАТЭ.

На протяжении ряда лет Институт ядерной физики выполняет работы по обследованию, мониторингу и рекультивации на ряде радиационно-опасных объектов Казахстана.

Институт ядерной физики с начала 90-х годов проводит комплексные широкомасштабные радиоэкологические исследования на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП).

Институтом выполнено:

- характеристика участков СИП по степени их радиационной опасности;
- исследования по реабилитации земель СИП и их передаче в народно-хозяйственный оборот;
- исследование загрязненности водных объектов СИП;
- обеспечение радиационной безопасности при эксплуатации месторождения каменного угля Кара-Жыра.

Бывший ядерный полигон «Азгир» находится на западе Казахстана.

Работы на объекте «Галит» по созданию с помощью подземных ядерных взрывов в массивах каменной соли полостей с целью их использования в качестве хранилищ большого объема многоцелевого назначения.

Всего было осуществлено 17 ядерных взрывов различной мощности на глубинах от 160 м до 1 500 м, было создано 9 подземных полостей с первоначальным суммарным объемом около 1,2 млн. куб. м.

Изучение радиационной обстановки на полигоне «Азгир» проводится постоянно. На слайде вы можете увидеть расположение боевых скважин и результаты площадной съемки на цезий-137.

Разработана и внедрена система постоянного радиационного мониторинга. Контролируется состояние окружающей среды площадок полигона, прилегающих территорий и ближайших населенных пунктов.

В 2007 и 2009 годах проведена очистка территории полигона от радиоактивного металлолома и загрязненного грунта. После выполнения реабилитационных мероприятий радиационная ситуация нормальная.



Результаты систематических комплексных исследований позволяют обоснованно утверждать, что основным неблагоприятным экологическим фактором в поселках Азгир и Балкудук является качество питьевой воды, при этом радиационная обстановка в настоящее время является нормальной и определяется естественными радиационными факторами.

На западе Казахстана, на территории Карачаганакского нефтегазоконденсатного месторождения расположены объекты ЛИРА - 6 подземных полостей были созданы с использованием ядерных взрывов в 80-е годы полости предназначались для временного хранения газоконденсата.

ИЯФ проведено комплексное радиозоологическое обследование объектов ЛИРА, прилегающих территорий и населенных пунктов. Полученные данные послужили основой для создания и постановки системы мониторинга и обеспечения радиационной безопасности на месторождении.

В настоящее время выполняется программа исследований, целью которых является приведение объектов «Лиры» в состояние длительного безопасного хранения.

На полуострове Мангышлак было проведено 3 ядерных взрыва с целью разработки технологии создания искусственных водоемов.

Во время обследования территории было обнаружено два участка радиоактивного загрязнения. В ходе рекультивационных работ загрязненный грунт был удален и размещен в специальном приземном захоронении. В настоящее время радиационная обстановка нормальная.

В городе Актау, на берегу Каспийского моря расположен энергетический реактор на быстрых нейтронах БН-350.

Реактор был предназначен для производства плутония, опреснения морской воды и производства электроэнергии. Реактор проработал более 25 лет, сейчас остановлен и выводится из эксплуатации. Институтом ядерной физики изучено радиационное состояние объектов окружающей среды (почва, вода, донные отложения, растительность).

Недалеко от реактора БН-350 находится хвостохранилище «Кошкар-Ата» в котором хранятся радиоактивные отходы ураноперерабатывающей фабрики.

Институтом ядерной физики было обследовано хвостохранилище, общая площадь которого составляет около 70 кв.км., и прилегающие территории. Разработана и внедрена система мониторинга. Разработаны технологические приемы для рекультивации радиоактивно загрязненных территорий.

Проводятся радиозоологические исследования трансграничных рек. Так, например, в исследовании реки Сыр-Дарья приняли участие ученые четырех государств (Казахстан, Узбекистан, Таджикистан, Киргизия), координатором являлись Сандийские национальные лаборатории США.

Полученные при обследовании Сыр-Дарьи навыки были использованы для создания государственной системы мониторинга трансграничных рек Казахстана.

В Институте разработана технология очистки нефтегазового оборудования от радиоактивных осадков. Внедрение указанной технологии позволило улучшить радиационную обстановку на нефтепромыслах.

В рамках борьбы с незаконным оборотом ядерных и радиоактивных материалов в Институте ядерной физики создана группа ядерной криминалистики.

Существует широкий спектр доступного оборудования и методик, которые могут быть использованы для судебно-медицинской экспертизы предоставленных материалов. В последнее время широко развивается международное сотрудничество в этом направлении.

## МЕТОДИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ ЛИТИЕВОЙ КПС С ДЕЙТЕРИЕМ

**С.К. Аскербекоев<sup>1,3</sup>, Т.В. Кульсартов<sup>1</sup>, Е.В. Чихрай<sup>1</sup>,  
Ю.Н. Гордиенко<sup>2</sup>, Ю.В. Понкратов<sup>2</sup>, К.К. Кадыржанов<sup>3</sup>, Писарев А.А<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>НИИ ЭТФ КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>ИАЭ НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

<sup>3</sup>ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан

<sup>4</sup>НИЯУ «МИФИ», Москва, Россия

### ВВЕДЕНИЕ

Разработка проекта ИТЭР показала, что выбор материала для пластины дивертора и защита первой стенки от разрушения являются наиболее важными проблемами. Применение литийевой капиллярно пористой системы (КПС) в качестве материала, обращенного к плазме, для установок управляемого термоядерного синтеза (УТС) имеет ряд преимуществ по сравнению с другими материалами и, возможно, поможет в решении важной проблемы значительного увеличения эксплуатационного ресурса дивертора [1-2].

Необходимым условием использования жидколитиевых систем в ТЯР является возможность удаления из них трития. Для оценки такой возможности проводятся исследования этих материалов в условиях, моделирующих реальную работу установки, т.е. в условиях нейтронного облучения. Обычно такие эксперименты проводятся на исследовательских ядерных реакторах [3-7].

В настоящей работе приводятся результаты первого этапа таких исследований, а именно методический вне реакторный эксперимент по сорбции дейтерия образцом литиевой КПС.

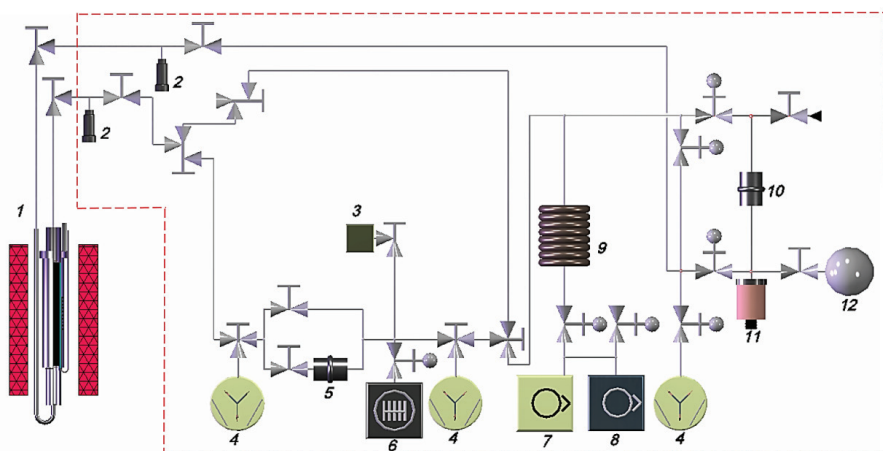
Эксперименты проводились на реакторной ампуле содержащий исследуемый образец литиевой КПС методом динамической сорбции. Были определены квазиравновесные уровни давления дейтерия в системе при различных температурах образца и потоке дейтерия (на уровне  $2,7 \times 10^{-11}$  моль/с) подаваемого в непрерывно откачиваемую ампулу с исследуемым образцом.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД

Эксперимент по исследованию взаимодействия дейтерия с образцом литиевой КПС проводился методом динамической сорбции на экспериментальном стенде ЛИАНА, принципиальная схема которого приведена на рисунке 1.

Экспериментальный стенд ЛИАНА функционально состоит из ампульного устройства (АУ) и рабочего блока (на рисунке 1 он выделен красной пунктирной линией).

Рабочий блок экспериментального стенда в свою очередь функционально состоит из вакуумной системы, системы напуска исследуемых газов в объем ампуль-



1 – ампульное устройство, 2 – датчики давления, 3 – масс-спектрометр RGA-100, 4 – высоковакуумный магниторазрядный насос; 5, 10 – палладий-серебряный фильтр; 6 – высоковакуумный турбомолекулярный насос; 7 – форвакуумный спиральный насос; 8 – форвакуумный роторный насос; 9 – азотная ловушка; 11 – датчик давления ПМДГ; 12 – емкость с водородом.

Рисунок 1. Принципиальная схема экспериментального стенда ЛИАНА

ного устройства с исследуемым образцом и информационно-измерительного комплекса. Ампульное устройство изготавливается исходя из задач исследования и характера технического обслуживания, связанного с этими задачами.

Схематический вид экспериментальной ячейки ампульного устройства используемого в экспериментах с образцом литиевой КПС представлен на рисунке 2.

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Эксперимент по исследованию взаимодействия дейтерия с литиевой КПС проводился методом динамической сорбции по следующему сценарию (рисунок 1):

- вначале эксперимента высоковакуумный тракт экспериментального стенда ЛИАНА, вместе с ампульным устройством был откачен до давления порядка  $10^{-6}$  торр. Палладий-серебряный фильтр (6) так же прокачивался с выходной стороны высоковакуумным насосом (9) до давления  $10^{-6}$  торр, а с входной стороны форвакуумным насосом (10) до давления  $10^{-4}$  торр;
- затем палладий-серебряный фильтр был нагрет до температуры  $160^{\circ}\text{C}$  и на вход фильтра с баллона (7) подавался дейтерий (давлением 750 торр);
- после установки на выходе палладий-серебряного фильтра и в объеме АУ потока спектрально чистого дейтерия на стационарном уровне  $2,7 \times 10^{-11}$  моль/с проводился последовательный нагрев образца литиевой КПС в интервале температур от  $100^{\circ}\text{C}$  до  $550^{\circ}\text{C}$ , с шагом  $100^{\circ}\text{C}$  и временем выдержки на каждой температурной полке около 10 мин;

- после нагрева образца литиевой КПС до 550°C осуществлялось последовательное охлаждение исследуемого образца до комнатной температуры с теми же температурными полками, что и при нагреве;
- на всем протяжении нагрева и охлаждения исследуемого образца проводилась непрерывная регистрация изменения парциального давления газов в объеме АУ с исследуемым образцом, с помощью масс-спектрометра RGA-100.

Условия проведения эксперимента были следующими:

- остаточное давление в измерительном вакуумном тракте –  $10^{-6}$  торр;
- поток дейтерия прокачиваемый через АУ –  $2,7 \times 10^{-11}$  моль/с;
- температура экспериментальной ячейки АУ с образцом литиевой КПС – 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C и 550°C;
- температура палладий-серебряного фильтра – 160°C;
- давление дейтерия подаваемого на вход фильтра – 750 торр.

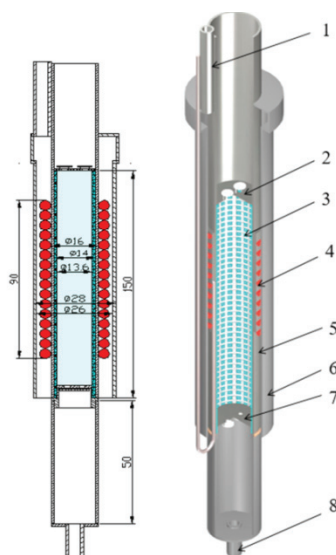


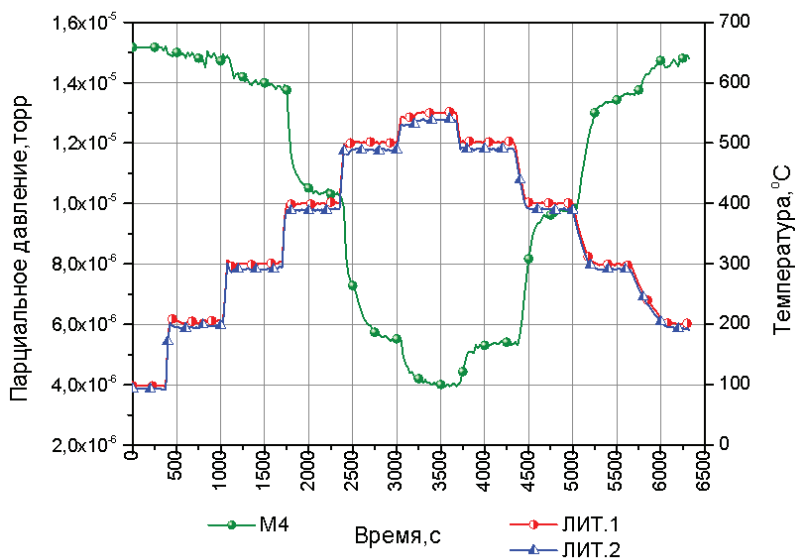
Рисунок 2. Схема и 3D модель экспериментальной ячейки

- 1 – тракт охлаждения; 2 – верхний экран; 3 – КПС; 4 – нагреватель; 5 – корпус ампулы; 6 – кожух охлаждения; 7 – нижний экран; 8 – тракт подачи дейтерия

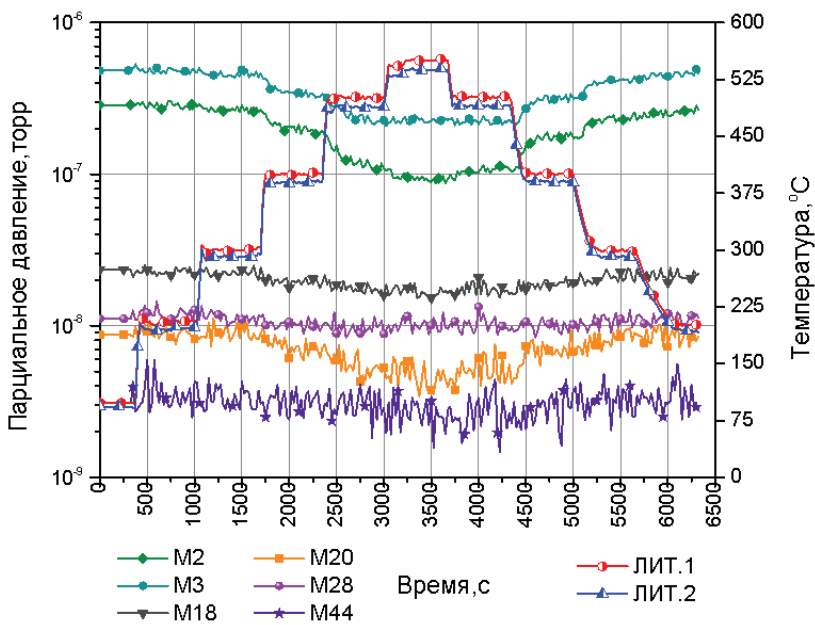
## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На рисунке 3 представлены временные зависимости изменения парциального давления газовых соединений в объеме АУ с исследуемым образцом литиевой КПС и изменение температуры корпуса экспериментальной ячейки на разных участках АУ. Обозначения газов на графиках соответствует следующим соединениям: М4 –  $D_2$ ; М2 –  $H_2$ ; М3 – HD; М18 –  $H_2O$ ; М20 –  $D_2O$ ; М28 – CO; М44 –  $CO_2$ ; ЛИТ.1 и ЛИТ.2 – термопары установлены на уровне центра экспериментальной ячейки АУ.

Таким образом в ходе проведения первой серии методических (вне реакторных) экспериментов были получены временные зависимости изменения парциального давления дейтерия и основных остаточных газов в объеме АУ в температурном интервале 300-550°C при потоке через трубчатый образец литиевой КПС спектрально чистого дейтерия. Уровень подаваемого потока дейтерия составлял порядка  $2,7 \times 10^{-11}$  моль/с. В последующем полученные результаты будут использованы для моделирования и описания процессов сорбции-десорбции изотопов водорода литиевой КПС при динамическом режиме подачи дейтерия в экспериментальное устройство с исследуемым образцом.



а)



б)

Рисунок 3. Изменение парциального давления газовых соединений в объеме АУ над исследуемым образцом литиевой КПС

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного методического эксперимента по исследованию взаимодействия дейтерия с образцом литиевой КПС были получены временные зависимости изменения парциального давления основных составляющих газовой фазы в объеме АУ с исследуемым образцом при прокачке через АУ спектрально чистого дейтерия (метод динамической сорбции), при уровне потока дейтерия  $2,7 \times 10^{-11}$  моль/с.

Полученные результаты будут использованы для определения температурной зависимости скоростей сорбции дейтерия литиевой КПС.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Evtikhin, V.A. Liquid Lithium Tokamak Reactor / V.A. Evtikhin, et al. // Proc. of 16th IAEA Fusion Energy Conference, – 1997. –V.3. – P. 659-665.
2. Mikhailov V.N., Lithium for Fusion Reactors and Space Nuclear Power Systems of XXI Century. – М.: Energoatomizdat, 1999.
3. Fukada, S. Hydrogen diffusion in liquid lithium from 500°C to 650°C / S. Fukada, et al. //J. Nucl. Mater. – 2005. –V. 346. – P. 293-297.
4. Alire, R.M. Transport of hydrogen in liquid lithium / R.M. Alire // J. Chem. Phys. – 1976. –V.65, № 3. – P. 1134-1137.
5. Moriyama H. Transport of tritium in liquid lithium / R.M. Alire, K. Iwasaki, Y. Ito // J. Nucl. Mater. – 1992. – V.190. – P. 191-194.
6. Buxbaum, R.E. Diffusivity of hydrogen isotopes in liquid lithium and in solid yttrium / R.E. Buxbaum, E.F. Johnson // Ind. Eng. Chem. Fundam. – 1985. – V.24. – P 180-182.
7. Blagoveshchenskii, N.M. Investigations of diffusion processes in liquid lithium and lithium-hydrogen melt by quasielastic neutron scattering / N.M. Blagoveshchenskii, N.I. Loginov, V.A. Morozov, A.G. Novikov, M.A. Pashnev, V.V. Savostin, A.L. Shimkevich // Journal of Physics: Conference Series. – 2008. – V.98, №2. – P. 022014-022018.

## ПРИМЕНЕНИЕ ВЫВЕДЕННЫХ ПУЧКОВ НЕЙТРОНОВ ДЛЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Бауыржан А.Б.<sup>1</sup>, Буртебаев Н.Т.<sup>2</sup>, Шаймерденов А.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ТОО «Семизбай-У», Астана, Казахстан

<sup>2</sup>РГП «Институт ядерной физики», Алматы, Казахстан

### АННОТАЦИЯ

Проанализированы и обобщены работы по использованию выведенных пучков нейтронов ядерных реакторов для фундаментальных и прикладных исследований. Нейтроны имеют ряд преимуществ при взаимодействии с веществом по сравнению с другими видами излучений, которые связаны с их уникальными свойствами. Рассмотрены установки в ведущих научных центрах мира, использующие упругое и неупругое рассеяние нейтронов для различных исследований.

### ВВЕДЕНИЕ

Исследовательские реакторы подразделяются на стационарные (непрерывного действия) и импульсные, они же в свою очередь делятся на реакторы для физических исследований, для наработки радиоизотопов и материаловедческие. Также ядерные реакторы подразделяются на реакторы малой, средней и большой мощности. Эти характеристики реакторов определяют направления их деятельности.

В настоящее время в мире эксплуатируются 227 исследовательских реакторов, большинство из них оснащены каналами для вывода пучков нейтронов в экспериментальный зал [1]. Такие каналы оснащаются экспериментальными установками для проведения исследований в области физики твердого тела и конденсированных сред, ядерной и нейтронной физики, химии, биологии, медицины, геологии, палеонтологии и т. д.

Широкое применение нейтронов в науке и технике обусловлено их уникальными свойствами: они электрически нейтральны, взаимодействуют с ядрами, а не с электронами оболочки атомов, обладают магнитным моментом. Энергия тепловых нейтронов близка к энергии коллективных возбуждений в кристаллах, уменьшение энергии нейтронов приводит к тому, что их дебройлевская длина волны начинает значительно превышать размеры атомов и становится сравнимой с размерами больших молекул и наноструктур, а также нейтроны обладают одновременно и волновыми свойствами [2]. Как известно, ядерный реактор обладает немонотонным спектром нейтронов, поэтому при проектировании экспериментальных установок необходимо решать проблемы, связанные с созданием и организацией пучка нейтронов с определенными нейтронно-физическими параметрами. Необходимо также учитывать, что ядерный реактор является не только источником нейтронного излучения, но и фотонного. Поэтому установки имеют системы экранирования и коллимации, которые должны быть разработаны с учетом специфики установки и области ее применения.



## ИССЛЕДОВАНИЯ НА ВЫВЕДЕННЫХ ПУЧКАХ НЕЙТРОНОВ

Нейтронное излучение широко применяется в фундаментальных и прикладных исследованиях. Высокоинтенсивным источником нейтронов является ядерный реактор, в котором происходит цепная реакция деления делящегося материала, в основном используются композиции на базе урана. Вследствие деления урана образуются два осколка деления и два-три нейтрона. Энергетическое распределение нейтронов при делении урана-235 показано на рисунке 1. Классификация нейтронов по энергиям приведена в таблице 1[3]. Далее вследствие ядерных реакций и распада осколков деления испускаются гамма-кванты.

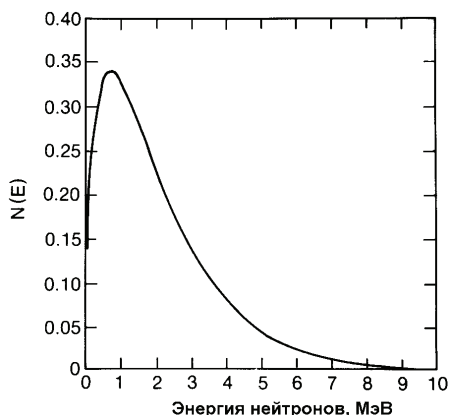


Рисунок 1. Спектр деления урана-235

Таблица 1. Классификация нейтронов по энергиям

Нейтроны		Энергия E, эВ
Быстрые		$> 10^5$
Медленные	Промежуточные	$10^4 \dots 10^5$
	Резонансные	$0.5 - 10^4$
	Тепловые	$5 \times 10^{-3} \dots 0.5$
	Холодные	$10^{-7} \dots 5 \times 10^{-3}$
	Ультрахолодные	$< 10^{-7}$

Конструктивно ядерные реакторы различаются между собой, поэтому энергетическое распределение нейтронов в них будет разное. Где-то будет преобладать тепловой спектр нейтронов, а где-то промежуточный или быстрый. Поэтому на первый план выходят задачи по оптимизации работы экспериментальных установок, а также средств доставки нейтронных потоков к ним, т.е. нейтроннопроводов. Нейтроннопроводы используются для вывода нейтронов из активной зоны ядерного реактора за биологическую защиту в экспериментальный зал. Для получения наиболее качественных условий эксперимента необходимо доставить на установку высокоинтенсивный пучок нейтронов с определенными нейтронно-физическими характеристиками.

Впервые нейтроннопроводы были предложены и применены Майер-Лейбницем на исследовательском реакторе FRM (Мюнхен, Германия) в 1962 году [4]. Основным назначением нейтроннопровода является его способность легко переносить нейтронный пучок без существенных потерь в интенсивности, т.е. сохранять высокую плотность потока вдали от источника. При использовании нейтроннопроводов можно управлять в известной степени такими параметрами, как энергия, угол и компоненты радиационного поля и таким образом применить их для определенных исследований.

Экспериментальные установки для пучковых исследований подразделяются на следующие типы: дифрактометры для упругого брэгговского и упругого диффузного рассеяния, спектрометры для малоуглового рассеяния, рефлектометры, спектрометры для неупругого рассеяния и другие установки [5]. Список действующих стационарных и импульсных реакторов, используемых для пучковых исследований приведен в таблице 2.

**Таблица 2. Исследовательские реакторы, применяемые для пучковых исследований**

Страна	Название реактора	Тип реактора	Тепловая мощность, кВт	Поток нейтронов, см <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup>
Алжир	NUR	Бассейновый	1 000	2×10 <sup>14</sup>
Австралия	OPAL	Бассейновый	20 000	4×10 <sup>14</sup>
Австрия	TRIGA II VIENNA	TRIGA MARK II	250	1×10 <sup>13</sup>
Бангладеш	BTRR	TRIGA MARK II	3 000	
Бразилия	IEA-R1	Бассейновый	5 000	5×10 <sup>13</sup>
Канада	MNR McMaster University	Бассейновый, материаловедческий	3 000	1×10 <sup>14</sup>
Чили	RECH-1	Бассейновый	5 000	7×10 <sup>13</sup>
Китай	CARR	Баковый в бассейне	60 000	1×10 <sup>15</sup>
Китай	CMRR (China Mianyang Research Reactor)	Бассейновый	20 000	2.4×10 <sup>14</sup>
Чехия	LVR-15 Rež	Баковый	10 000	1×10 <sup>14</sup>
Франция	ILL	HEAVY WATER	58 300	1.5×10 <sup>15</sup>
Франция	Orphee	Бассейновый	14 000	2.5×10 <sup>14</sup>
Германия	FRMZ	TRIGA MARK II	100	1×10 <sup>16</sup> (импульс)
Германия	BER-II	Бассейновый	10 000	1×10 <sup>14</sup>
Германия	FRM II	Бассейновый	20 000	8×10 <sup>14</sup>
Венгрия	Budapest Research Reactor	Баковый	10 000	2×10 <sup>14</sup>
Индия	Dhruva	Тяжелая вода	100 000	2×10 <sup>14</sup>
Индия	Apsara-U	Бассейновый	2 000	6×10 <sup>13</sup>
Индонезия	RSG-GAS	Бассейновый, материаловедческий	30 000	2.5×10 <sup>14</sup>
Япония	KUR	Баковый	5 000	6.5×10 <sup>13</sup>
Корея	HANARO	Бассейновый	30 000	4.5×10 <sup>14</sup>

Малайзия	TRIGA Puspati (RTP)	TRIGA MARK II	1 000	$1 \times 10^{13}$
Нидерланды	HOR	Бассейновый	2 300	$4.6 \times 10^{13}$
Нидерланды	HFR	Баковый в бассейне	45 000	$3 \times 10^{14}$
Норвегия	JEEP II	Баковый	2 000	$3.4 \times 10^{13}$
Пакистан	PARR-1	Бассейновый	10 000	$1.7 \times 10^{14}$
Перу	RP-10	Бассейновый	10 000	$1.2 \times 10^{14}$
Польша	MARIA	Бассейновый	30 000	$3.5 \times 10^{14}$
Румыния	TRIGA II Pitesti	TRIGA	14 000	$2.6 \times 10^{14}$
Россия	IR-8	Бассейновый	8 000	$1 \times 10^{14}$
Россия	IVV-2M	Бассейновый	15 000	$2 \times 10^{14}$
Россия	IBR-2M	Быстрый, импульсный	2 000	$1 \times 10^{16}$ (импульс)
Южная Африка	SAFARI-1	Баковый в бассейне	20 000	$2.8 \times 10^{14}$
Украина	SNI, IR-100	Бассейновый	200	$6.2 \times 10^{12}$
Украина	WWR-M	Баковый	10 000	$1.2 \times 10^{14}$
США	NIST	Тяжелая вода	20 000	$4 \times 10^{14}$
США	PULSTAR North Carolina State Univ.	Бассейновый, PULSTAR	1 000	$1.1 \times 10^{13}$
США	HFIR	Баковый	85 000	$3 \times 10^{15}$
США	OSURR Ohio State Univ.	Бассейновый	500	$1.5 \times 10^{13}$
США	PSBR Penn St. Univ.	TRIGA MARK	1 000	$3.3 \times 10^{13}$
США	MURR Univ. Missouri-Columbia	Баковый в бассейне	10 000	$1.2 \times 10^{14}$
США	TRIGA Univ. Utah	TRIGA MARK I	100	$4.5 \times 10^{12}$
Узбекистан	WWR-SM Tashkent	Баковый	10 000	$2.3 \times 10^{14}$

На рисунке 2 приведена гистограмма использования пучкового времени на исследовательских реакторах Европы [6]. Как видно из гистограммы, большинство пучкового времени тратится на проведение фундаментальных исследований (34%).

Мировым лидером по проведению физических исследований на выведенных пучках нейтронов является институт Лауэ-Ланжевена, Гренобль, Франция. Для этого у них имеется один из самых высокопоточных стационарных исследовательских реакторов в мире (HFR), с плотностью потока нейтронов  $10^{15}$  н/см<sup>2</sup>•сек. На рисунке 3 приведена эволюция нейтронных источников на базе ядерных реакторов [6]. На сегодняшний день максимально достижимая плотность потока нейтронов в исследовательских ядерных реакторах составляет  $(3-5) \times 10^{15}$  см<sup>-2</sup>•с<sup>-1</sup>.



Рисунок 2. Использование нейтронного пучкового времени для разных областей науки и техники

На реакторе HFR реализуются следующие нейтронные методики:

- нейтронная дифракция;
- нейтронное рассеивание малого угла;
- неэластичное нейтронное рассеивание;
- квазиупругое рассеивание нейтрона;
- нейтронная рефлектометрия;
- гамма-спектроскопия.

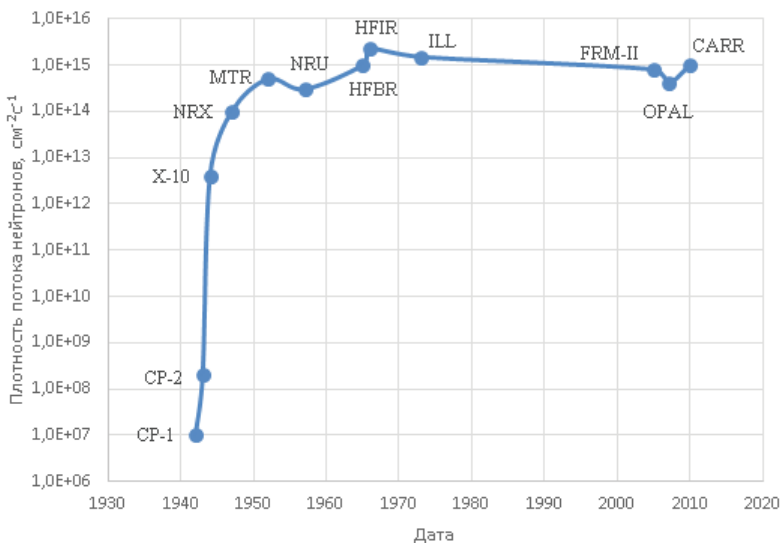


Рисунок 3. Эволюция источников нейтронов на базе ядерных реакторов

В настоящее время в России эксплуатируются три пучковых стационарных ис-

следователских реактора с потоком нейтронов  $\sim 10^{14}$  н/см<sup>2</sup>•с: реактор ВВР-Ц (Обнинск), реактор ИВВ-2М (Екатеринбург) и реактор ИР-8 (Москва).

В г. Дубна (Россия) расположен импульсный исследовательский реактор ИБР-2М, который предназначен для пучковых исследований. Максимальная плотность потока нейтронов в импульсе составляет  $10^{16}$  н/см<sup>2</sup>•с. Ширина импульса составляет 200-340 мкс, поэтому средний по времени поток нейтронов составляет  $10^{13}$  н/см<sup>2</sup>•с. Реактор обладает уникальными установками для физических исследований, на которых применяются следующие нейтронные методики:

- дифракция;
- малоугловое рассеяние;
- рефлектометрия;
- неупругое рассеяние;
- нейтронная радиография;
- ядерная физика;
- нейтронный активационный анализ.

На рисунке 4 показан горизонтальный разрез экспериментального зала реактора ИБР-2М с названиями экспериментальных установок [7].

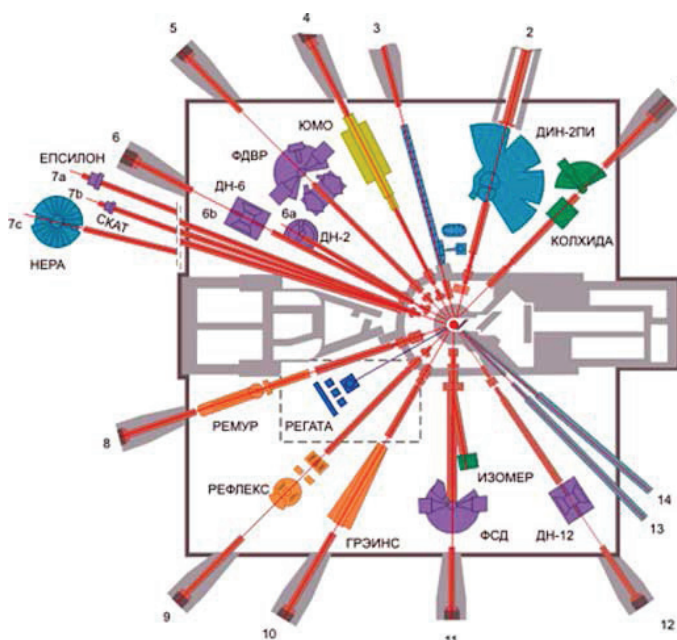


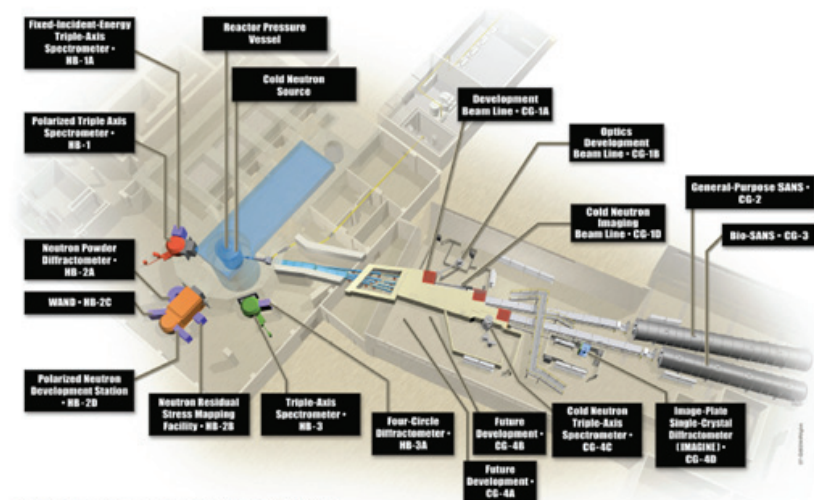
Рисунок 4. Горизонтальный разрез экспериментального зала реактора ИБР-2

В Санкт-Петербургском институте ядерной физики (ПИЯФ) им. Б.П. Константинова построен современный высокопоточный пучковый реактор ПИК с потоком нейтронов до  $1.5 \times 10^{15}$  н/см<sup>2</sup>•с, но он еще не введен в эксплуатацию. На нем проводятся работы по модернизации оборудования. После ввода этого реактора в

эксплуатацию у мировой науки появятся новые возможности для физических исследований.

В США, активные пучковые исследования проводятся в Оак-Риджской национальной лаборатории, на реакторе HFIR с плотностью потока нейтронов  $2 \times 10^{15}$  н/см<sup>2</sup>·с. Горизонтальный разрез реактора с указанием экспериментальных установок показан на рисунке 5. На реакторе имеются следующие оборудование и установки [8]:

- установка нейтронной радиографии;
- трёхосный спектрометр холодных нейтронов;
- дифрактометр Лауэ;
- поляризованный трёхосный спектрометр;
- широко угловой нейтронный дифрактометр;
- устройство разработки нейтронных пучков;
- трёхосный спектрометр с фиксированной энергией столкновения;
- установка для картирования нейтронных остаточных напряжений;
- четырехруковой дифрактометр;
- биологический малоугловой прибор для рассеяния нейтронов;
- универсальный малоугловой дифрактометр рассеяния нейтронов;
- нейтронный порошковый дифрактометр;
- трёхосный спектрометр.



*The High Flux Isotope Reactor instrument layout.*

Рисунок 5. Горизонтальный разрез реактора HFIR

В Казахстане есть исследовательский реактор ВВР-К, который снабжен десятью горизонтальными каналами для вывода пучков нейтронов в экспериментальный зал [9]. Из них, девять каналов – радиальные и один – касательный. До распада СССР на нем проводились пучковые исследования по рассеянию нейтронов [10, 11].

В 70-х годах был создан источник ультрахолодных нейтронов. На этой установке были исследованы процессы образования ультрахолодных нейтронов в газообразных, жидких, конденсированных замедлителях, измерены полные сечения их взаимодействия с газами, восполняющие пробелы при  $E \sim 10^{-7}$  эВ в атласах нейтронных сечений. На основе теоретического анализа и экспериментальных данных установлены закономерности изменения сечений упругого и неупругого рассеяния ультрахолодных нейтронов на молекулах газов водорода, дейтерия, трития, кислорода и азота в зависимости от скорости нейтрона [12]. После развала СССР работы в этих направлениях были приостановлены.

В 2017 году в ИЯФ были начаты работы по восстановлению пучковых исследований на реакторе ВВР-К. На первом этапе была разработана установка нейтронной радиографии и томографии. В конце 2019 года планируется ввести ее в эксплуатацию. На следующем этапе планируется создание установки нейтронной дифракции в режиме реального времени. Дополнительно изучается возможность создания установки ультра-холодных нейтронов. Эти работы проводятся при сотрудничестве с ОИЯИ.

Рассмотрим некоторые примеры применения выведенных пучков для фундаментальных исследований.

Метод структурной нейтронографии основан на том, что у тепловых нейтронов дебройлевская длина волны соответствует величине межатомных расстояний в молекулах и кристаллах. Структурная нейтронография – это один из основных современных методов структурного анализа вещества, который конкурирует с рентгеноструктурным анализом и электронографией.

Пучковые исследования с помощью нейтронов проводятся и в биологии. Изучается пространственное распределение биологической материи в ядре живых клеток на нано уровне, т.е. от молекул ДНК в хромосомах до самого ядра. Полученная информация помогает понять функционирование живой клетки, как целого организма.

В области ядерной физики проводятся эксперименты по измерению и уточнению времени жизни нейтрона. Перспективным направлением в нейтронной физике является проведение исследований с ультрахолодными нейтронами. Одним из применений ультрахолодных нейтронов является поиск электрического дипольного момента нейтрона.

Выведенные пучки широко применяются в промышленности и в прикладных исследованиях.

С развитием электроники и электронной техники, актуальной проблемой становится хранение энергии. В таких устройствах аккумулируется энергия и происходит преобразование химической энергии в электрическую, вследствие электрохимических реакций. В основном сейчас используются литий-ионные батареи, и они стали объектами исследований. Изучение внутренней структуры батареи и других объектов возможно методом нейтронной радиографии, который имеет широкое применение в науке и технике [13-20].

Одним из наиболее распространенных методов является нейтроно-активационный анализ, который позволяет определять элементный состав образцов без какой-либо их предварительной подготовки перед измерениями и с достаточно хорошей чувствительностью. Определение элементного состава образцов производится по гамма излучению активировавшихся ядер.

Традиционным применением пучковых исследования является физика твердого тела и материаловедение. Эти исследования направлены на изучения механизма изменения свойств материалов под действием нейтронного излучения.

С помощью выведенных пучков проводят нейтронно-трансмутационное легирование кремния для радиоэлектронной промышленности. При облучении слитков кремния необходимо максимально термализовать спектр нейтронов. Согласно рекомендациям МАГАТЭ, отношение плотности потока тепловых нейтронов к быстрым должно быть не менее 10:1 [21].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведя литературный обзор и изучив текущее состояние работ в области пучковых исследований на базе ядерных реакторов можно констатировать следующее:

- нейтроны применяются не только для традиционных областей науки, но и для новых направлений. Тому подтверждение применение нейтронных исследований в биологии, медицине, археологии и т.д.;
- наблюдается тенденция уменьшения источников нейтронов на базе исследовательских реакторов и поэтому увеличивается загрузка существующих реакторов;
- возрастает роль и потребность человечества в нейтронных исследованиях. Например, получение новых материалов, увеличение ресурса аккумуляторов и т.д.;
- мировые державы развивают физические исследования с выведенными пучками нейтронов. Казахстану также необходимо развивать это перспективное направление и восстанавливать школу нейтронной физики для индустриально-инновационного развития страны.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Research reactor database. [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://nucleus.iaea.org/RRDB/RR/ReactorSearch.aspx>
2. Для чего нужны нейтроны // В.Ф. Ежов, В.В. Федоров - Гатчина, 2007, ПИЯФ РАН, тираж 50 экз.
3. Бушуев, А.В. Экспериментальная реакторная физика: учебное пособие. – М.: МИФИ, 2008. – 280 с.
4. А.У. Гайсина, Е.В. Москвин - Влияние геометрии отдельных секций на характеристики изогнутого нейтронновода.// Санкт-Петербург, 2017, стр 14 из 55.
5. Аксенов В.Л. Нейтронная физика на пороге XXI века // Препринт Объединенного института ядерных исследований Р14-2000-55, Дубна, 2000, 36 с.
6. Neutron scattering facilities in Europe - Present status and future perspectives



- / ESFRI Physical Sciences and Engineering Strategy Working Group – Neutron Landscape Group, ISBN: 978-88-901562-5-0, 2016, 74 p.
7. Neutron instrumentation at the IBR-2. [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://flnph.jinr.ru/ru/facilities/ibr-2/instruments>
  8. Oak Ridge National Laboratory. Neutron sciences. Strategic plan 2014. Oak Ridge, Tennessee, U.S., 2014, 74 p.
  9. A.A. Shaimerdenov, D.A. Nakipov, F.M. Arinkin, Sh.Kh. Gizatulin, P.V. Chakrov, and Ye.A. Kenzhin The 50<sup>th</sup> Anniversary of the WWR-K Research Reactor // *Physics of Atomic Nuclei*, 2018, Vol. 81, No. 10, pp. 1408-1411.
  10. Yu.G. Kosyak. Nuclear-spectroscopic and neutron-physical research on neutrons of the reactor // *Nuclear and radiation physics: (materials of the international conference dedicated to the 40th anniversary of INP NNC RK, Almaty, October 8-11, 1997)*, Almaty, «PRINT-S», 1997, pp.175-185.
  11. K.K. Kadyrjanov. 40 years of the INP. History, achievements, prospects // *Nuclear and radiation physics: (materials of the international conference dedicated to the 40th anniversary of INP NNC RK, Almaty, October 8-11, 1997)*, Almaty, «PRINT-S», 1997, pp. 3-34.
  12. F.L. Shapiro. Production of ultracold neutrons (UCN) in a WWR-K stationary reactor // Akhmetov E.Z., Kaipov D.K., Conx V.A., Lushchikov V.I., Pokotilovskiy Yu.N., Strelkov A.V., Shapiro F.L. / *Atomic Energy*, Volume 37, Issue 1, 1974, pp. 35-38.
  13. Anderson I.S., McGreevy R.L., Bilheux H.Z. (Eds.). *Neutron Imaging and Applications: A Reference for the Imaging Community*. New York. Springer. 2009. P. 341.
  14. Lehmann E.H., Kaestner A., Gruenzweig C., Mannes D., Vontobel P. and Peetermans S. 2014. Materials research and non-destructive testing using neutron tomography methods. // *International Journal of Materials Research*. V.105, P. 664-670.
  15. De Beer F.C. Neutron- and X-ray radiography/ tomography: non-destructive analytical tools for the characterization of nuclear materials // *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurg*. 2015. V.115. P. 913-924.
  16. Калоян А.А., Коваленко Е.С., Пахневич А.В., Подурец К.М., Рожнов С.В., Соменков В.А. Синхротронная и нейтронная томография для исследования палеонтологических объектов. // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*. 2014. №11. С.5-11.
  17. Perfect E. et al. Neutron Imaging of Hydrogen-Rich Fluids in Geomaterials and Engineered Porous Media: A Review // *Earth-Science Rev*. 2014. V. 129. P. 120-135.
  18. Kichanov S.E., Kozlenko D.P., Ivankina T.I., Rutkauskas A.V., Lukin E.V., Savenko B.N. The Neutron Tomography Studies of the Rocks from the Kola Superdeep Borehole // *Physics Procedia*. 2015. V. 69. P. 537-541.
  19. Kichanov S., Saprykina I., Kozlenko D., Nazarov K., Lukin E., Rutkauskas A., Savenko B. Studies of Ancient Russian Cultural Objects Using the Neutron Tomography Method // *Journal of Imaging*. 2018. 4, 25.
  20. Janssens K., Van Grieken R. *Non-destructive Micro Analysis of Cultural Heritage Materials*. 1 edition. Imprint: Elsevier Science. 2005. P.828.
  21. Neutron Transmutation Doping of Silicon at Research Reactors, IAEA tecdoc-1681, 2012.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДОБЫЧИ УРАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Калыкова Г.М., Разуваева Т.В., Мырзабек Г.А., Поезжаев И.П.**

ТОО «Институт высоких технологий», Алматы, Казахстан

Достижение управляемости процессами ПСВ с очевидным экономическим эффектом является целью действующих добычных предприятий. В то же время отсутствие возможности прямого оперативного контроля, большая инерционность процесса, растянутость его во времени делают управление добычей довольно сложной задачей с тенденцией к постоянному ухудшению по мере отработки месторождения. В жестких ценовых условиях нет иного пути по поддержанию рентабельности предприятия, кроме как увеличения эффективности отработки залежей. Подразумевает это, прежде всего, снижение издержек при подготовке и эксплуатации блоков, что может быть выражено в:

- оптимизации расходов на ГПР (создание оптимальных схем вскрытия, оптимальное положение фильтров в разрезе, адекватный режим закисления, дебиты и приемистости скважин, баланс по растворам и т.д.);
- оптимизации расходов при добыче (оптимальные ремонтно-восстановительные работы, до- и перебуры скважин, регламенты подачи кислоты, баланс по растворам и т.д.).

В связи с этим эффективное моделирование гидродинамики подземного выщелачивания является актуальной задачей, востребованной сегодня многими предприятиями горно-добывающей отрасли во всем мире.

Для предприятий АО «НАК «Казатомпром», имеющей свой базовый пакет проектирования и управления работой блоков, привязанный к собственной базе данных проблемы оценки оптимальности потоков технологических растворов могут быть решены с помощью специализированного моделирования.

В настоящей работе предлагается использование симулятора, совместно разработанного специалистами ТОО «ИВТ» и КазНУ им. аль-Фараби, позволяющего рассчитывать 3-х мерные гидродинамические модели процесса ПСВ, что в свою очередь поможет выявить недостатки в распределении потоков технологических растворов в горнорудной массе, часто являющейся причиной нештатной работы блоков.

В действительности, факторов управления процессом ПСВ совсем немного:

- возможности варьирования концентрацией кислоты в ВР;
- возможности варьирования приемистостями закачных и дебитами откачных скважин (ограничено техническими и гидрогеологическими параметрами, к тому же дебит откачных скважин поддерживается обычно на максимуме, что не всегда верно);
- возможности реверса растворов и добурирования дополнительных технологических скважин.

Можно выделить несколько аспектов оптимизации гидродинамических параметров:

- каждая откачная скважина должна работать в балансе со своим закачным окружением. Задача решается простыми расчетами для гексагональных схем, но не может быть решена без привлечения моделирования для рядных схем;
- интенсивность работы фильтра по длине должна отвечать балансовому оруденению, иными словами, максимум дебита должен приходиться на рудную часть разреза. Это актуально для маломощных рудных прослоев (менее 2 м), в особенности в резко анизотропной по проницаемости среде (переслаивание песков разной зернистости и глин);
- посадка фильтров учитывать возможность гравитационного опускания растворов. В случае невозможности избежать таковое (например, при нештатных остановках блоков), необходимо разработать форс-мажорный регламент по дебитам, чтобы избежать потерь растворов;
- интенсивность проработки ГРМ должна быть такой, чтобы минимизировать образование застойных зон. В большинстве случаев образование застойных зон не несет в себе серьезной угрозы по скорости отработки и выполнению плана для конкретного блока, но для отдельных случаев – богатые рудные тела, попадающие в застойные зоны и невозможность поддержания проектных дебитов блока – образование застойных зон увеличивает время отработки в 1,5 раза и более;
- при двух- и более этажном вскрытии, при отсутствии надежных водоупоров между этажами, велика опасность перетоков растворов и межэтажного канализования. Это может приводить к недозакисленности ГРМ (может быть принято решение о прекращении подачи кислоты при низких рН, тогда как имеет место переток растворов между этажами) и дальнейшему падению содержания урана в ПР до пороговых для рудника показателей.

Определенные выше случаи неоптимальных потоков технологических растворов должны быть, прежде всего, надежно диагностированы. В ряде случаев это можно сделать путем несложных расчетов фактических объемов закачки в конкретную ячейку и сравнения их с дебитами. Но в большинстве случаев диагностика неоптимальной работы ячеек (блоков) в гидродинамическом аспекте требует проведения модельных построений, которые позволяют визуализировать результат в виде распределения линий тока либо идеального трассера (того, что не реагирует с веществом ГРМ).

На стадиях закисления и отработки возможности управления процессом приобретают особое значение, так как непосредственно влияют на экономические показатели отработки.

При закислении блока критически важными параметрами являются:

- минимизация непроизводительных потерь кислоты за счет законтурного растекания и миграции по вертикали в непродуктивные разности;
- поддержание проектных (плановых) дебитов и приемистостей, регламентной концентрации кислоты в ВР;
- полнота и одновременность достижения проектных показателей для всех ячеек технологического блока;
- отслеживание отклика блока и своевременная реакция на них (с возможным изменением плановых параметров закисления).

В принципе, достижимость названных аспектов закисления заложена в соответствующих регламентах, разрабатываемых на основе лабораторных и натурных опытов, ОПВ и фактических результатов закисления ранее запущенных блоков.

Неоптимальная гидродинамика выразится, прежде всего, в отсутствии баланса между ПР и ВР в пределах ячейки и блока в целом (в последнем случае необходимы поправки на работу соседних блоков). Особенно опасны в этом случае дебаланс в пользу откачки, при наличии прослоев карбонатных песчаников в пределах активной мощности фильтрации. Часто по таким песчаникам образуются каналы, когда кальцит растворяется, а образованный аморфный гипс выносится потоком ВР в виде частиц алевро-глинистой размерности. Как результат, возрастает эффективная пористость, и – при неизменных дебитах, поток уменьшается в своей ширине и мощности, двигаясь по объему с наименьшим сопротивлением. Частицы гипса, а также алевролита и глины переоткладываются в местах падения скорости фильтрации, выше и ниже линии максимальной скорости, кольматируя границы канала, по которому будут мигрировать растворы. Тем самым создается канал, обычно мощностью сопоставимый или несколько меньший, чем длина фильтра, с границами, закольматированными не только алевро-глинистой нерастворимой составляющей, но и гелями железа и алюминия. Переориентировать поток из этого канала невозможно обычными методами; только реверсирование потоков или сооружение дополнительных скважин может исправить ситуацию.

Подобное каналирование также образуется при резком изменении конфигурации сети вскрытия. Расстояния между откачными и закачными скважинами обычно выдерживаются в пределах единого блока достаточно жестко, вариации составляют  $\pm 10\%$  от среднего и опасности каналирования не несут. Однако, при двухэтажном вскрытии встречаются ситуации, когда ячейки верхнего и нижнего этажей смещены друг относительно друга на расстояние, большее, чем 1-2% от глубины скважины. При наличии устойчивых водоупоров это не опасно, но в случае гидравлических окон между нижним и верхним этажами вскрытия, потоки разных этажей могут смешиваться, при этом закачные одного этажа начинают работать на откачные другого. Такая ситуация – особенно при большом сдвиге ячеек друг относительно друга - чревата неравномерностью закисления и каналированием. Иная ситуация создается при недостатке объемов ПР. В случае расположения фильтров на надежном нижнем водоупоре, возможна только непроизводительная потеря кислоты. В случае подвешенных руд, с расстоянием от низа фильтра до водоупора, равном длине фильтра или более, велика вероятность миграции ВР вниз по разрезу и концентрацией на нижнем водоупоре под влиянием разницы в удельных весах пластовой воды и ВР [1].

Нельзя забывать, что гидродинамические условия процесса определяют скорость фильтрации потока раствора и как результат интенсивность проработки участков пласта реагентным раствором, т.е. динамику химического взаимодействия раствора реагента с веществами в твердой фазе. В то же самое время эти химические процессы влияют на характеристики пласта и меняются гидродинамические условия ПВ.

При разработке урановых месторождений исходными данными по каждому блоку месторождения являются данные по скважинам (координаты, глубина и имена

всех скважин) блока, а также литологические данные породы и содержание минерала на скважинах. Все эти данные представлены данными на скважинах и носят пространственно-разрывной характер.

Для построения геологической модели месторождений необходимо обработать большое количество неравномерно распределенных в пространстве данных с применением методов интерполяции для определения основных характеристик разрабатываемого блока. Существует множество различных методик интерполяции данных: линейная интерполяция, интерполяция методом соседних точек, интерполяция методом обратных взвешенных расстояний и метод кригинга с различными вариациями его реализации. Наиболее распространенными методами интерполяции, применяемыми для задач геотехнологии, являются метод обратных взвешенных расстояний (ОВР), метод поверхности тренда и различные вариации кригинга [2].

Данные трехмерной геологической модели, полученные на основе геостатистических расчетов, являются исходными для расчета давления в пласте, линий тока выщелачивающего раствора и других гидродинамических параметров.

Используемый симулятор по расчету 3-х мерной гидродинамической модели процесса добычи полезного компонента методом ПСВ, содержит:

- модуль импорта входных расчетных данных и создания расчетной сетки, предоставляющий:
  - импорт скважинных данных (координаты, тип скважины, расположение фильтров, наименование скважины) с текстового файла;
  - импорт фильтрационных и минералогических свойств породы (литологический тип, коэффициент фильтрации и концентрация урана) с текстового файла;
  - импорт данных о дебитах в зависимости от типа скважины с текстового файла;
  - возможность создания структурированной, регулярной трехмерной расчетной сетки по заданным координатам;
- расчетный модуль, позволяющий, на узлах расчетной сетки по скважинным данным, проводить 3-х мерную интерполяцию основных фильтрационных и минералогических свойств рудовмещающих пород, таких как литологический тип породы, коэффициент фильтрации и содержание урана;
- программный модуль по моделированию гидродинамики процесса добычи полезного компонента методом ПСВ, в котором реализованы следующие возможности:
  - расчет распределения давления в пласте, исходя из данных коэффициента фильтрации и дебитов;
  - выбор граничных условий между условиями Неймана и Дирихле в зависимости от геологических и гидрогеологических особенностей выбранного для моделирования участка работ;
  - выбор метода расчета давления (явный, неявный).

При этом, интервал установки фильтров технологических скважин прописывается вручную или путем импорта данных. Результаты проведенной интерполяции

визуализируются графическим редактором в 3-х мерном виде, в плане X-Y по выбранной Z координате и в разрезе X-Z или Y-Z по выбранным Y или X координатам соответственно.

Первичными данными для проведения интерполяции основных фильтрационных характеристик являются геофизические исследования, проведенные в разведочных и технологических скважинах, а также геологическая и гидрогеологическая информации выбранного участка работ. Результатом проведения гидродинамического моделирования является: поле распределение гидродинамического напора в пределах выбранного геометрического контура и поле распределение действительной скорости фильтрации (линии тока).

- модуль по визуализации исходных данных и полученных результатов в виде разрезов (по X, Y и Z осям), блоков, кривых линий растекания выщелачивающего раствора, и т.д. Предусмотрена возможность конфигурирования цветов и порогов легенды, фона отображения, захвата снимка для сохранения JPEG рисунков, импорт произвольных контуров с текстовых файлов;
- модуль экспорта данных для хранения полученных результатов с возможностью экспорта результатов моделирования в распространенных форматах, совместимых с другими визуализаторами (например TecPlot 360®).

Таким образом, используемый симулятор содержит 3-х мерный интерполяционный модуль основных фильтрационных характеристик рудовмещающих пород в пределах выбранного геометрического контура по точечным в плане данным и модуль расчета гидродинамики, в котором на основе разработанной 3D геологической модели производится расчет давления, линий тока в пласте под действием сети скважин.

Общая математическая модель состоит из трех этапов: вычисление геологии, вычисление давления в пласте, вычисление линий тока раствора.

Проведены работы по получению моделей потоков технологических растворов с использованием программного модуля в условиях реального производства на территории рудника «Центральный Мынкудук» ТОО «ДП «ОРТАЛЫК».

В результате моделирования получены модели потоков технологических растворов для выбранного блока. Работа с блоком производилась посредством подключения к ИС «Рудник» и использованием данных, выгруженных из базы данных «Atomgeo».

Было показано, что для выбранного блока, по скважинным данным, использование симулятора позволяет определить фильтрационные свойства, геометрическое распределение руды и литологические свойства породы в межскважинном пространстве, путем вычисления следующих характеристик: коэффициент фильтрации, литологический тип породы, содержание урана. Также был произведен расчет распределения давления и линий тока раствора в пласте по заданным на скважинах дебитам и рассчитанным данным по коэффициенту фильтрации. Результаты были отображены встроенным в симуляторе визуализатором. Это по-

зволило определить растекание раствора в пласте, что потенциально позволяет выявить зоны закисления, наряду с застойными зонами [3].

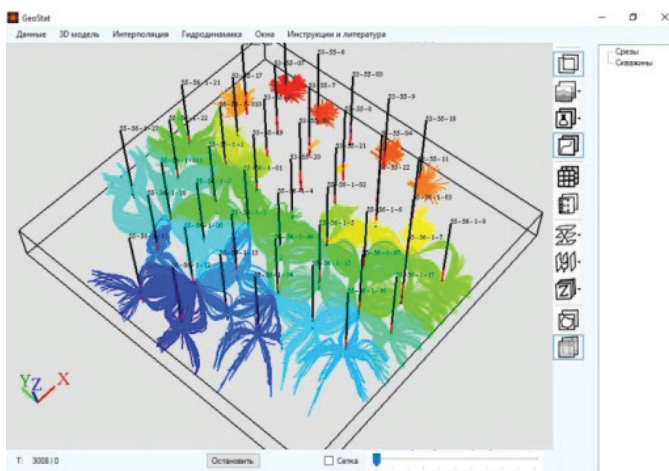


Рисунок 1. Линии токов от закачных скважин к откачным

Была выделена интересующая ячейка с так называемыми «висячими рудами», для которой были продемонстрированы линии токов выщелачивающего раствора на фоне срезов по литологии, коэффициентам фильтрации, распределения урана.

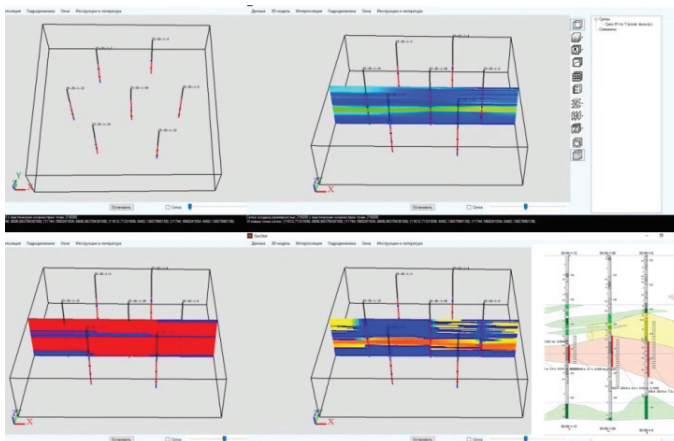


Рисунок 2. Геостатистическая интерполяция для выделенной ячейки (слева направо и вниз: схема ячейки, коэффициент фильтрации, водоупоры, распределение урана и схема оруднения по данным ТОО «ДП «ОРТАЛЫК»)

В симуляторе для ячейки была изменена высота фильтров и добавлена закачная скважина рядом с откачной, что позволило визуально определить разницу в гидродинамике.

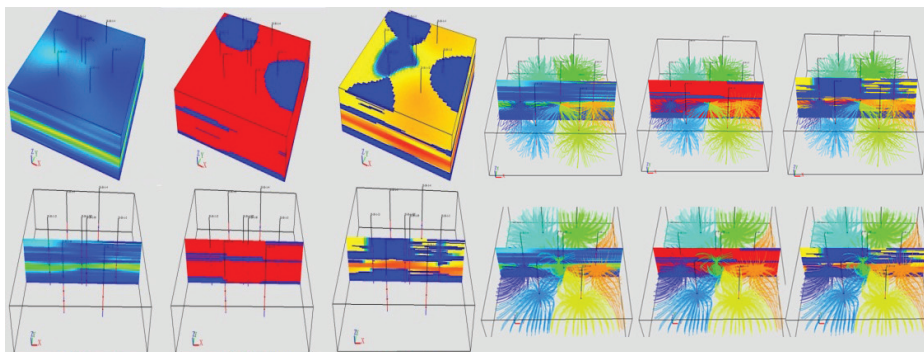


Рисунок 3. Результаты, полученные до и при добавлении дополнительной скважины

Значимость исследования состоит в оптимизации добычи урана методом ПСВ путем повышения эффективности разработки месторождений, увеличения доли извлекаемого урана и снижения экологической нагрузки на окружающую среду, а именно: подсчет с высокой точностью начальных и текущих объемов урана рассматриваемых участков и выявление богатых зон; оптимальное расположение скважин; мониторинг образования застойных зон и растекания раствора за пределы блока; прогнозирование, контролирование и управление процессом добычи урана регулированием содержания серной кислоты в выщелачивающем растворе, регулированием давления на скважинах и реверсированием потоков в рудном горизонте.

Результаты исследования по данному направлению должны улучшить работу проблемных блоков для выполнения контрактных условий предприятий в следующих аспектах:

- уменьшение затрат на добычу/закисление путем исключения непроизводительных потерь кислоты;
- ускорение отработки блока путем оптимизации потоков технологических растворов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Совершенствование управления технологическими параметрами ПВ урана с учетом прогнозных геотехнологических свойств обрабатываемых месторождений. Отчет по проекту № 257/НАК от 11.07.2014 г., научное направление № 3, тема 3.1.А, ТОО «ИВТ», Алматы, 2015.
2. Совершенствование схем вскрытия технологических блоков и полигонов на основе применения моделирования и прогнозирования состояния недр под воздействием подземного выщелачивания. Отчет по проекту № 258/НАК-13 от 26.09.2013 г., ТОО «ИВТ», Алматы, 2014.
3. Оптимизация потоков технологических растворов при закислении и отработке блоков. Отчет по проекту № 178/НАК от 18.04.2016 г., ТОО «ИВТ», Алматы, 2017.



## РАДИАЦИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ (РУ) БН-350

**Қонысбаев Н.Ш., Иванов А.И.**

ТОО «МАЭК-Казатомпром», Актау, Казахстан

Целью радиационного обследования реакторной установки на быстрых нейтронах 350 (далее РУ БН-350) является получение исходных данных для разработки проекта вывода из эксплуатации. Радиационная обследования проводилось в соответствии с «Планом первоочередных мероприятий по выводу из эксплуатации реактора БН-350 в г. Актау. Радиационное обследование проводится в соответствии с существующими технологическими схемами, чертежами и планами. К обследованию подлежат все доступные для персонала участки наружных и внутренних поверхностей оборудования и трубопроводов систем здания, сооружения и наружные коммуникации РУ БН-350.

При проведении радиационного обследования поверхностей помещений зданий и сооружений РУ БН-350 их делят на следующие категории:

- помещения постоянного и временного пребывания персонала, в которых персонал будет находиться в период контролируемого безопасного хранения РУ БН-350;
- не обслуживаемые и периодически обслуживаемые помещения, в которых размещены системы, оборудование и трубопроводы, контактировавшие с радиоактивными средами и остающиеся на штатных местах без демонтажа и консервации.

При проведении радиационного обследования проводятся следующие измерения:

1. Мощность дозы гамма-излучения (МД) — определение мощности дозы гамма-излучения производится переносными дозиметрами или радиометрами на расстоянии 0,1 и 1 метр от поверхности системы в соответствии с Инструкцией по эксплуатации.
2. Спектральный состав гамма-излучения — спектральный состав гамма-излучения от системы определяется в случае, если система ранее содержала или содержит сейчас радиоактивные среды и ранее эти измерения не проводились. Спектральный состав гамма-излучения определяется при помощи гамма-спектрометрического комплекса на базе детекторов ДГДК-63, Ortec или аналогичных. Расстояние от поверхности измеряемой системы до рабочей поверхности детектора выбирается, исходя из мощности дозы с тем, чтобы нагрузка детектора не превышала 20%. При необходимости применяются коллимирующие устройства. Результатом измерения являются идентифицированные радионуклиды в спектре.
3. Величина суммарного загрязнения альфа-, бета- излучающими радионуклидами наружных и внутренних поверхностей — измерения проводятся при помощи переносного дозиметра-радиометра типа ДКС-96 или аналогичным со сменными датчиками в соответствии с Инструкцией по эксплуатации прибора. Измерения проводятся на расстоянии 1 см от поверхности.
4. Величина снимаемого загрязнения альфа-излучающими радионуклидами

наружных и внутренних поверхностей — измерения проводятся методом сухих «мазков». «Мазок» берется с поверхности площадью 200 см<sup>2</sup> путем ее двукратного протирания в перпендикулярных направлениях. Материал тампона – хлопчатобумажная ткань. Взятый «мазок» измеряется на радиометре УИМ2-2Д с блоками детектирования БДЗА-100, БДЗА-100М или на радиометре УМФ-2000 или аналогичных.

5. Величина снимаемого загрязнения бета-излучающими радионуклидами наружных и внутренних поверхностей — измерения проводятся методом влажных «мазков». «Мазок» берется с поверхности площадью 200 см<sup>2</sup> путем ее двукратного протирания в перпендикулярных направлениях. Материал тампона – хлопчатобумажная ткань, тампон смачивается водой. Поток бета-частиц измеряется на приборе УИМ2-2Д с блоками детектирования БДЗБ-100, БДЗБ-11Д или аналогичном.
6. Радионуклидный состав гамма-излучающих радионуклидов в снимаемом радиоактивном загрязнении поверхностей — гамма-спектрометрические измерения «мазков» имеют выборочный характер. Для измерений отбираются «мазки», для которых измеренные значения потока бета-частиц имеют наибольшие, либо типичные для элементов системы значения, и, кроме того, поток бета-частиц сильно отличается от измеренного ранее в результате радиационного обследования. Результатом измерения является значения активности идентифицированных радионуклидов в «мазке». Измерения производятся на гамма-спектрометрах ДГДК-63В-3 и «ORTEC» (GEM-28180S) или аналогичных по «Методике измерений активности счётных образцов на гамма-спектрометрах Лаборатории экологического мониторинга и охраны труда».

### ТОЧКИ КОНТРОЛЯ

Точки контроля по пунктам 1-6 определяются, исходя из следующих критериев:

Для систем:

Для оборудования системы, контактировавшей с радиоактивными средами – 1 точка на 4 м<sup>2</sup> площади поверхности, но не менее 1 точки с каждой единицы оборудования:

- для трубопроводов системы, контактировавшей с радиоактивными средами – 1 точка на 2 погонных метра (для трубопроводов диаметром больше 100 мм – 2 точки в нижней и верхней части трубопровода);
- для оборудования системы, не контактировавшей с радиоактивными средами – 1 точка на 10 м<sup>2</sup> площади поверхности, но не менее 5 точки для системы в целом;
- для трубопроводов системы, не контактировавшей с радиоактивными средами и кабельных проводок – 1 точка на 5 погонных метров, но не менее одной в каждом помещении, через которые проходят трубопроводы или кабели;
- для внутренних поверхностей системы количество точек контроля определяется с учётом возможности его вскрытия, от 3 до 5 для каждой системы;
- в случае, если мощность дозы менее 5 мкЗв/час, а величина суммарного

загрязнения менее 400 част/см<sup>2</sup>•мин, других измерений радиационных характеристик не производится;

- в случае, если величина снимаемого радиоактивного загрязнения не превышает 100 част/см<sup>2</sup>•мин, радионуклидный состав загрязнения не определяется;
- дополнительно к указанным выше объемам обследуются все места возможного накопления радионуклидов – застойные зоны, недренируемые участки, изгибы трубопроводов.

Для помещений, зданий, сооружений и наружных коммуникаций:

- если мощность дозы в помещении менее 5 мкЗв/ч, а величина суммарного радиоактивного загрязнения менее 400 част/см<sup>2</sup>•мин, то других измерений радиационного состояния помещения не проводится;
- если величина снимаемого радиоактивного загрязнения не превышает 100 част/см<sup>2</sup>•мин, радионуклидный состав загрязнения не определяется.

Количество точек контроля определяется, исходя из следующих критериев:

- для помещений постоянного пребывания персонала – 1 точка на 10 м<sup>2</sup>, но не менее 5 в помещении;
- для необслуживаемых и периодически обслуживаемых помещений – 1 точка на 4 м<sup>2</sup>, но не менее 5 в помещении.

При проведении измерений параметров радиационного состояния помещений дополнительно, в обязательном порядке, должны быть обследованы все места возможного накопления радионуклидов: места с нарушенным защитным покрытием, экранированные места, места с подтёками на поверхностях и т.п.

### **ТРЕБОВАНИЯ К ПЕРСОНАЛУ, ЗАДЕЙСТВОВАННОМУ В ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ И ОБОРУДОВАНИЮ**

Работы проводятся персоналом РУ БН-350 и ЦРТиТД, в установленном порядке прошедшим квалификационные проверки и допущенным к проведению работ.

Перед началом работ проверяется техническое состояние используемого оборудования, приборов и инструментов. Не допускается использовать неисправное оборудование, приборы и инструмент, а также неуполномоченные приборы или приборы с истекшим сроком поверки.

### **ПЕРЕЧЕНЬ НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ТЕХНИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ**

Подготовить к проведению работ необходимое оборудование, приборы, инструмент и материалы.

В случае необходимости персонал РУ БН-350 проводит подготовительные работы на оборудовании обследуемых систем и в помещениях систем (обеспечение освещения и т.п.). Работы по радиационному обследованию производятся с выдачей наряда-допуска.

Проведение работ и допуск персонала на обследуемую систему реакторной установки производятся в соответствии с требованиями положений и инструкций, действующих на реакторной установке БН-350 и в центре радиационных технологий и технической диагностики (далее - ЦРТиТД).

Обследование начинается с измерений мощности дозы системы, при этом определяется средняя мощность дозы и источники повышенной мощности дозы (более чем в 2 раза превышающей среднюю).

### **ПЕРСОНАЛ, ОТВЕТСТВЕННЫЙ ЗА ПРОВЕДЕНИЕ КОНТРОЛЯ**

За проведение работ по данной программе несут ответственность:

- Директор РУ БН-350 – за общую координацию работ.
- Главный инженер РУ БН-350 – за организацию и проведение работ по радиационному обследованию РУ БН-350.
- Начальник отдела радиационной безопасности (ОРБ) РУ БН-350 – за проведение инструментальных замеров радиационных характеристик зданий, сооружений, наружных коммуникаций, помещений и технологических систем РУ БН-350, за подготовку и выдачу протоколов и картограмм по радиационному обследованию.
- Начальник отдела технической поддержки (ОТП) РУ БН-350 – за систематизацию, анализ полученных данных, подготовку и оформление отчётов по радиационному обследованию.
- Директор Центра радиационных технологий и технической диагностики (ЦРТиТД) – за организацию работ, проводимых персоналом ЦРТиТД.
- Главный технолог ЦРТиТД – за организацию и проведение работ по радиационному обследованию территории РУ БН-350, за анализ имеющихся данных по радиационным характеристикам и содействие ОРБ и ОТП РУ БН-350 при оформлении протоколов и картограмм по радиационному обследованию.

### **МЕРОПРИЯТИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ**

Работы по обследованию систем, проводимые в технологических помещениях, в которых расположены системы, проводится с оформлением наряда - допуска.

При проведении работ необходимо соблюдать правила техники безопасности и радиационной безопасности в объеме инструкций и положений по охране труда и радиационной безопасности, действующих в ЦРТиТД и на РУ БН-350.

### **ТРЕБОВАНИЯ К ДОКУМЕНТАЦИИ**

Результаты измерений фиксируются в соответствующих протоколах. По измерениям на каждую систему, здание, сооружение, коммуникацию составляется картограмма радиационного обследования.

На основании протоколов и картограмм составляется отчёт по радиационному обследованию. Результаты проведенных измерений оформляются как приложение к отчёту и представляются в виде таблицы с указанием места снятия



Рисунок 1. Проведение радиационного обследования

«мазка» и его радиационных характеристик (снимаемое суммарное бета-загрязнение поверхности, скорость счета альфа-частиц от «мазка»). Результаты гамма-спектрометрических измерений оформляются в отдельной таблице.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Радиационное обследование показало, что оборудование технологических систем, работавшее в контакте с отработавшим ядерным топливом (системы перемещения и отмывки ОТВС, бассейны выдержки), включая системы, работающие в контакте с водами бассейнов выдержки, имеют значительное загрязнение радиоактивными веществами. Также высокий уровень загрязнения отмечен для систем, работающих с ЖРО (СВО, ХЖО, системы спецканализации). Вместе с тем, именно внутренние поверхности оборудования и трубопроводов этих систем имеют наибольшее загрязнение радиоактивными веществами. По этой причине обследование этих систем должно быть продолжено.

По результатам проведенного обследования установлено, что наружные поверхности части оборудования и трубопроводов «чистых» технологических систем имеют загрязнение радиоактивными веществами. Как правило, это загрязнение объясняется близостью к оборудованию, работавшему в контакте с радиоактивными средами. Такое соседство обуславливало перенос радиоактивных веществ при проведении ремонтных работ, в аварийных ситуациях и т.п.

Во всех системах были обследованы только доступные места.

Результаты радиационного обследования системы вентиляции показали, что МД от воздухопроводов в точках их выхода из зданий 130 и 150А превышает фо-

новые значения. Воздуховоды имеют снимаемое загрязнение бета-излучающими радионуклидами. Определение МД непосредственно от короба и его поверхностного загрязнения радионуклидами не могло быть проведено, т.к. он полностью проходит под землей.

Анализ результатов радиационного обследования наружных коммуникаций системы «условно-чистой» производственной канализации показал, что объекты системы отличаются по своим радиационным характеристикам. Среди них имеются как объекты с МД на уровне естественного фона, так и с МД, превышающей фон (например, ПК-8, ПК-9, ПК-13). Максимальное зафиксированное значение МД составило 35 мкЗв/час. Обнаружено снимаемое загрязнение объектов системы бета-излучающими радионуклидами (до 15 бета-част/см<sup>2</sup>•мин), загрязнения альфа-излучающими радионуклидами не зафиксировано. Обнаружено радиоактивное загрязнение грунта в колодцах ПК радионуклидами Cs-137 и Co-60. Содержание Cs-137 в пробах грунта, по результатам гамма-спектрометрического анализа, превышает минимально значимую удельную активность для этого радионуклида, установленную гигиеническими нормативами «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» (ГН СЭТОРБ). Гамма-спектрометрический анализ показал также присутствие в одной из проб радионуклида Co-60, содержание которого ниже минимально значимой удельной активности для этого радионуклида, установленной гигиеническими нормативами «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» (ГН СЭТОРБ). Анализ проб сточных вод ПК, показал присутствие в них бета- и гамма-излучающих радионуклидов, удельная активность которых ниже допустимых величин, установленных санитарными правилами и гигиеническими нормативами «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» (СП СЭТОРБ, ГН СЭТОРБ) для жидких отходов.

Анализ результатов радиационного исследования наружных коммуникаций системы спецканализации показал, что МД на всех обследованных объектах превышает значение естественного гамма-фона. Максимальное значение МД составило 150 мкЗв/час (люк спецканализации), минимальное – 0,50 мкЗв/час. Зафиксировано загрязнение обследованных объектов бета-излучающими радионуклидами (до 35 β-част/см<sup>2</sup>•мин), загрязнения альфа-излучающими радионуклидами не обнаружено. По результатам гамма-спектрометрического анализа проб грунта, взятых из колодца спецканализации и ССК, гамма-излучающие радионуклиды в них не обнаружены.

Результаты радиационного обследования системы хозяйственно-фекальной канализации показывают, что мощность дозы в сооружениях 172, 174 и 177 находится на уровне естественного фона (0,08-0,15 мкЗв/час), загрязнения оборудования и сооружений альфа- и бета-излучающими радионуклидами не зафиксировано. Исключение составляют иловые площадки очистных сооружений, на которых отмечено превышение фона (мощность дозы составляет до 0,30 мкЗв/час). Спектрометрический анализ проб ила показал наличие в иле радионуклидов Cs-137, Co-60 и Sr-90 с концентрацией,

превышающей установленные значения МЗУА. То есть, илы должны быть отнесены к категории радиоактивных отходов, подлежащих захоронению.

По результатам проведенных измерений систем водяного отопления (ПС-ОС), оборотного водоснабжения (ПЦ-ОЦ) и аварийного водоснабжения установлено, что, за исключением относительно коротких участков, мощность дозы от трубопроводов, проложенных в техтоннеле (сооружение 169а), превышает значение естественного гамма-фона. Максимальное зафиксированное значение мощности дозы от трубопровода составило 7,0 мкЗв/час (точка 1 – паропровод и трубопровод ОЦ, точка 2 – паропровод ОЦ). Трубопроводы имеют поверхностное загрязнение бета-излучающими радионуклидами (до 20 бета-част/см<sup>2</sup>•мин), загрязнения альфа-излучающими радионуклидами не обнаружено. Максимальное зафиксированное значение мощности дозы в приемке составило 22,0 мкЗв/час (точка 9). Спектрометрический анализ проб отложений, взятых из приемки техтоннеля, показал наличие в них радионуклида цезия-137 (максимальная зафиксированная удельная активность –  $1,5 \times 10^5$  Бк/кг).

По результатам обследования системы аварийного электроснабжения (сооружение 161), мощность дозы на его территории не превышает естественного фона. Загрязнения трансформатора Т<sub>1</sub> альфа- и бета-излучающими радионуклидами не зафиксировано.

**Таблица 1. Картограмма радиационного обследования системы кондиционирования воздуха зд. 130 РУ БН-350**

№ п/п	Участок замера	Результаты измерений			
		Вид излучения	Ед. измерения	Величина	Протяженность трубопроводов на участке замера, метр*
1.	МКТ-350/1, МКТ-350/2, бак № 1, бак № 2.	гамма	мкЗв/час	0,15±0,20	
2.	Система трубопроводов	гамма	мкЗв/час	0,15±0,20	~ 10 000*
3.	МКТ-350/1, МКТ-350/2, бак № 1, бак № 2.	бета	β-част/см <sup>2</sup> •мин	<0,5	
4.	Система трубопроводов	бета	β-част/см <sup>2</sup> •мин	<0,5	~ 10 000*
5.	МКТ-350/1, МКТ-350/2, бак № 1, бак № 2.	альфа	α-част/см <sup>2</sup> •мин	<0,5	
6.	Система трубопроводов	альфа	α-част/см <sup>2</sup> •мин	<0,5	~ 10 000*

\* - измерения радиационных характеристик трубопроводов производились с шагом 5 метров.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Техническая справка «О результатах радиационного обследования короба вентиляции В-22с, В-23с».
2. Техническая справка «О результатах радиационного обследования наружных коммуникаций системы повторно используемой воды».
3. Техническая справка «О результатах радиационного обследования наружных коммуникаций системы производственной канализации».
4. Техническая справка «О результатах радиационного обследования наружных коммуникаций системы спецканализации».
5. Техническая справка «О результатах радиационного обследования наружных коммуникаций систем водяного отопления, оборотного и аварийного водоснабжения».
6. Техническая справка «О результатах радиационного обследования трансформатора Т1».
7. Техническая справка «О результатах радиационного обследования наружных коммуникаций системы хозяйственно-фекальной канализации».
8. К.К.Кадыржанов, С.Н.Лукашенко, В.Н.Глущенко, «Радиационное обследование территории площадки, санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения РУ БН-350». Отчёт по договору № 28 от 05.04.02, том 1, Алматы, 2003.



## СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ПРИЛЕГАЮЩИХ К ОБЪЕКТАМ ЛИРА

*Макарова В.А., Суздальцева Т.В., Ли Р.А.,  
Севериненко М.А., Филиппова Л.Н., Моренко В.С.*  
РГП «Институт ядерной физики», Алматы, Казахстан

### ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЛИРА

Освоение в 1950-1970-е годы в СССР крупнейших месторождений полезных ископаемых, находившихся на обширных малонаселенных территориях, уникальный опыт в технике проведения крупномасштабных взрывов химических взрывчатых веществ создали широкие предпосылки для успешного применения подземных ядерных взрывов в промышленных целях.

По окончании поисково-разведочного комплекса работ на Карачаганакском нефтегазоконденсатном месторождении (КНГКМ), расположенном в Западно-Казахстанской области, проектом по его разработке было предусмотрено создание буферных подземных резервуаров, предназначенных для технологического регулирования процесса транспортировки конденсата на Оренбургский газоперерабатывающий завод.

Во исполнение постановлений ЦК КПСС и СМ СССР (от 25.03.83 № 239-96 и от 08.05.84 № 427-107) в 1983 и 1984 гг. на КНГКМ на глубине около 1 000 м в толще кунгурских солевых отложений были созданы с помощью ядерных взрывов 6 подземных резервуаров общим объемом 300÷350 тыс.м<sup>3</sup>, получивших название объекты ЛИРА.

Местоположение подземных резервуаров определялось технологическими требованиями, геологическими условиями, инженерными коммуникациями, необходимостью приближения хранилища конденсата к промыслу и было привязано к центральной части Карачаганакского соляного поднятия.

Первые 3 ёмкости созданы ядерными взрывами 10.07.1983, вторая серия из 3-х взрывов проведена 21.07.1984. Интервалы между взрывами в каждой серии - 5 мин. Энерговыделение (мощность) каждого взрыва - 15 кттэ.

Параметры заложения ядерных взрывных устройств (ЯВУ) на объекте даны в таблице 1. Наименование приведенных взрывов и глубины заложения ядерных устройств приведены в соответствии с актами подготовки и проведения взрывов, паспортами объектов и справочником «Испытания ядерного оружия и ядерные взрывы в мирных целях СССР. 1949-1990 гг. Министерство Российской Федерации по атомной энергии, Министерство обороны Российской Федерации, 1996». В дальнейших разделах проекта созданные взрывами ёмкости именуются также, как и скважины, использованные для размещения ЯВУ.

Доступ к каждому резервуару обеспечивался технологическими скважинами, получившими обозначение ТК-1, ТК-2, ТК-3, ТК-4, ТК-5 и ТК-6.

**Таблица 1. Параметры заложения ядерных взрывных устройств**

Объект	Скважина №	Глубина, м			
		заложения ЯВУ		забоя	скважины по результатам контрольного шаблонирования
		согласно акту	согласно паспорту		
Лира 1Т (Лира 1/1)	ТК-1	917	920	1000	950
Лира 2Т (Лира 1/2)	ТК-2	917	920	1010	950
Лира 3Т (Лира 1/3)	ТК-3	841	841	1002	959
Лира 4Т (Лира 2/1)	ТК-4	850	846	1004	1004
Лира 5Т (Лира 2/2)	ТК-5	850	844,5	1060	1050
Лира 6Т (Лира 2/3)	ТК-6	960	959	1124	1115

Сведения о глубине заложения ЯВУ различаются. В данной работе, как и в работах [3,4], анализ состояния скважин проводится по данным, приведенным в паспортах объектов.

Радиационная обстановка при взрывах на всех объектах, кроме объекта «Лира 2Т», соответствовала естественному радиационному фону (ЕРФ) данного региона. На объекте «Лира 2Т» при взрыве произошел аварийный выброс забивки, приведший первоначально к засасыванию воздуха в полость, образованную взрывом, и затем, начиная с 1,75 ч после взрыва в течение 85 ч, к выходу радиоактивных веществ в атмосферу. Вынос радионуклидов был прекращен после герметизации устья скважины. При аварии на объекте «Лира 2Т» выходили только короткоживущие газообразные и летучие радионуклиды. Поэтому радиационного загрязнения оборудования и окружающей среды после герметизации устья скважины выше допустимых нормативов не произошло.

Резервуар ТК-5 при вскрытии оказался полностью заполненным водой. Была проведена его изоляция от дневной поверхности с помощью цементной пробки. Для контроля герметичности обводненной полости была создана сеть из 11 контрольно-наблюдательных скважин, охватывающих весь водоносный комплекс.

При вводе в эксплуатацию резервуара ТК-6 произошло технологическое осложнение. В результате проведенных аварийно-технологических работ осложнение устранено не было. Состояние подземной части резервуара не известно. Польша с 1988 года находится без давления.

После вскрытия и обследования полостей выявлено, что подземные резервуары ТК-1, ТК-2, ТК-3, ТК-4 были «сухими» и соответствовали проектным объемам.

Данные полости находились в опытно-промышленной эксплуатации в качестве буферных емкостей при перекачке газоконденсата с КНГКМ на Оренбургский нефтеперерабатывающий завод с 1988 по 1995 год.

С 1995 года объекты ЛИРА не эксплуатируются. Во избежание сжатия и обруше-

ния кровли скважин в подземных полостях поддерживается давлением порядка 20-50 кгс/см<sup>2</sup> путем закачки сырого газа с нефтегазового комплекса.

Сооружения ТК-1, ТК-2, ТК-3, ТК-4, ТК-6 обустроены подземным и устьевым оборудованием и представляют собой замкнутую систему, которая была соединена сетью подводящих подземных трубопроводов через установку комплексной подготовки газа (УКПГ-3) с нефтегазовым комплексом (в настоящее время отключена от УКПГ-3).

По результатам исследований, выполненных институтом «ВНИПИПромтехнология», образованные подземные полости характеризуются следующими параметрами, представленными в таблице 2.

**Таблица 2. Характеристики ядерных взрывов и полостей на объектах ЛИРА**

Подземная полость	Год создания	Глубина, м	Объем, тыс. м <sup>3</sup>	Состояние резервуара
ТК-1	1983	881	55	Использовалась для приема, хранения и перекачки конденсата. Хранится 13.6 тыс. т конденсата
ТК-2	1983	888	66	Использовалась для приема хранения и перекачки конденсата. Хранится 50 тыс. т конденсата
ТК-3	1983	796	45	Использовалась для приема хранения и перекачки конденсата. Хранится 15.2 тыс. т конденсата
ТК-4	1984	820	47	Использовалась для приема хранения и перекачки конденсата. Хранится 4.6 тыс. т конденсата
ТК-5	1984	844	49	При вскрытии оказалась заполнена водой
ТК-6	1984	931	49	В настоящее время имеется завал в скважине

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТАХ ЛИРА

Объекты ЛИРА расположен в северо-восточной части Карачаганакского нефтегазоконденсатного месторождения. В районе расположения объекта находятся 9 населенных пунктов и районный центр - г. Аксай. Расстояние от границы объектов ЛИРА до ближайшей жилой зоны (п. Карачаганак) составляет 9,7 км, а до г. Аксай 35 км.

Ситуационная карта расположения г. Аксай и объектов ЛИРА представлена на рисунке 1.

Надземная часть объекта включает шесть приустьевых площадок технологических скважин: ТК-1, ТК-2, ТК-3, ТК-4, ТК-5, ТК-6. Расстояние между приустьевыми площадками по внутри промысловым дорогам составляет:



Рисунок 1. Карта расположения г. Аксай и объектов ЛИРА

- от ТК-1 до ТК-3 – 2 000 м;
- от ТК-1 до ТК-4 – 600 м;
- от ТК-4 до ТК-2 – 300 м;
- от ТК-2 до ТК-5 – 400 м;
- от ТК-5 до ТК-6 – 1 000 м.

Схема расположения подземных ядерных полостей объектов ЛИРА представлена на рисунке 2.

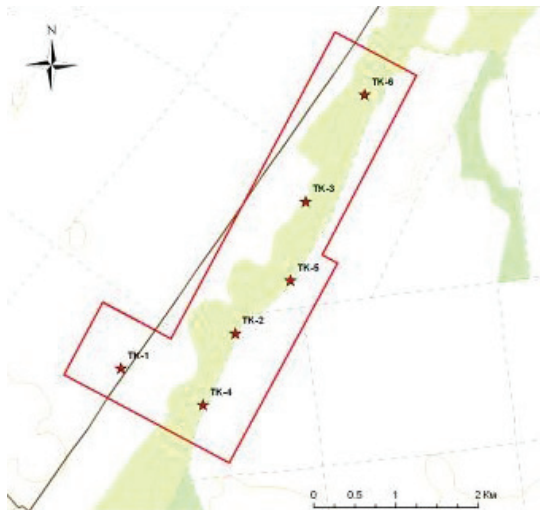


Рисунок 2. Схема расположения подземных ядерных полостей объектов ЛИРА

После прекращения использования подземных резервуаров в технологическом процессе разработки КНГКМ четыре полости остались заполненными жидкими углеводородами (конденсатом) общим количеством 64 тыс.т. и находились под давлением закачанного в них технологического газа в соответствии регламентом содержания подземных сооружений.

Объекты ЛИРА является потенциально опасными радиационным объектом и, соответственно, обращение с такими объектами регулируется законодательством об использовании атомной энергии и обеспечении радиационной безопасности.

При заключении Окончательного Соглашения о Разделе Продукции (ОСРП) по Карачаганакскому нефтегазоконденсатному месторождению от 18.11.1997 г., Республика Казахстан взяла на себя обязательство проводить исследования и осуществлять мониторинг подземных ядерных объектов («Штолен») на Подрядном участке.

В 1998 году, исходя из способа создания объектов и их потенциальной радиационной опасности, на основании постановления Правительства Республики Казахстан № 5 от 12 января 1998 года объекты были переданы на баланс Института ядерной физики (ныне Республиканское государственное предприятие «Институт ядерной физики» Министерства энергетики РК) для реализации «Программы исследований и мониторинга Штолен».

Для оценки фактического радиоэкологического состояния объектов ЛИРА и прилегающих территорий, а также механизмов его изменения в 1998-2004 годах Институтом ядерной физики были проведены масштабные комплексные исследования (радиоэкологические, радиохимические, геолого-геофизические, гидро-геохимические, тематические). В рамках данных исследований был проведен отбор и анализ проб почв, грунта, воды и растительности на территории площадью около 300 км<sup>2</sup>. Совокупность результатов всех проведенных исследований свидетельствовала о нормальной радиоэкологической обстановке на КНГКМ и прилегающих территориях. Обнаруженные участки радиоактивного загрязнения почвы на технологических площадках были ликвидированы в ходе рекультивационных работ.

Ввиду того, что инженерный комплекс объектов ЛИРА был исключен из технологической схемы нефтегазодобывающего комплекса КНГКМ, были прекращены и мероприятия по антикоррозионной защите оборудования объекта.

Основной проблемой является сверхнормативный (более 25 лет) физический и коррозионный износ технологического оборудования, который в сочетании с высоким давлением в полостях (до 52 атм.) создавал угрозу аварийных спонтанных выбросов газа с высоким содержанием сероводорода из полостей ТК-1 – ТК-4.

В качестве наиболее срочной меры обеспечения безопасности в 2014-2015 годах был выполнен контролируемый сброс давления в подземных резервуарах с применением стандартной процедуры отжига газа в оборудованных амбарах.

В 2015 году, после сброса давления в подземных резервуарах были начаты работы по замене изношенного устьевоего оборудования.

На основании полученных данных была разработана и внедрена научно обоснованная комплексная система мониторинга объектов «Лира» и прилегающих территорий, дающая возможность получения системной информации, проведения оперативных мероприятий и прогнозирования экологического состояния объектов.

### **СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ, СОБРАННЫХ В БАЗЕ ГИС ПРОЕКТА ЛИРА**

С 1999 года на объектах ЛИРА проводится площадное обследование территории, результаты которого загружались в ГИС проект «ЛИРА», созданный в 2001 году и с тех пор постоянно обновляемый в соответствии с вновь поступающими данными.

С использованием возможностей ArcGIS в ГИС проекте «ЛИРА» были собраны для статистической обработки результаты исследований территории объектов ЛИРА, секторов в направлении от объектов ЛИРА к населенным пунктам и территорий населенных пунктов. Целью статистической обработки собранных данных является получение математической оценки влияния объектов ЛИРА на окружающую среду.

Были сформулированы следующие задачи:

- существует ли статистически значимое влияние глубины отбора проб почвы на измеренную удельную активность естественных радионуклидов ( $^{226}\text{Ra}$  и  $^{40}\text{K}$ ) в сравнении с искусственным радионуклидом  $^{137}\text{Cs}$ ?
- существует ли статистически значимое отличие измерений удельных активностей радионуклидов в почвах, выполненных в разное время?
- существует ли статистически значимое отличие удельных активностей радионуклидов в почвах населенных пунктов, прилегающих к объектам ЛИРА?

Все расчеты проводились с помощью программного пакета для статистического анализа «STATISTICA».

### **ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ ОТБОРА ПРОБ ПОЧВЫ НА ИЗМЕРЕННУЮ УДЕЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ РАДИОНУКЛИДОВ**

При обследовании объектов ЛИРА и прилегающих территорий применялись различные методики пробоотбора. В частности, в разное время варьировался интервал отбора проб почвы. Для оценки распределения радиоактивных изотопов по глубине на территории объектов ЛИРА из ГИС-проекта были извлечены данные исследований с информацией об удельной активности радионуклидов в разных слоях почвы (0-5 см и 10-30 см).

Для статистической проверки гипотез (статистических критериев), существует несколько различных методов. Выбор метода зависит от типа данных.

Нормальность распределения оценивалась тремя основными способами: построением частотной (рисунок 3а) и ящичной (рисунок 3б) диаграмм и нормально-вероятностного графика (рисунок 5 а,б).

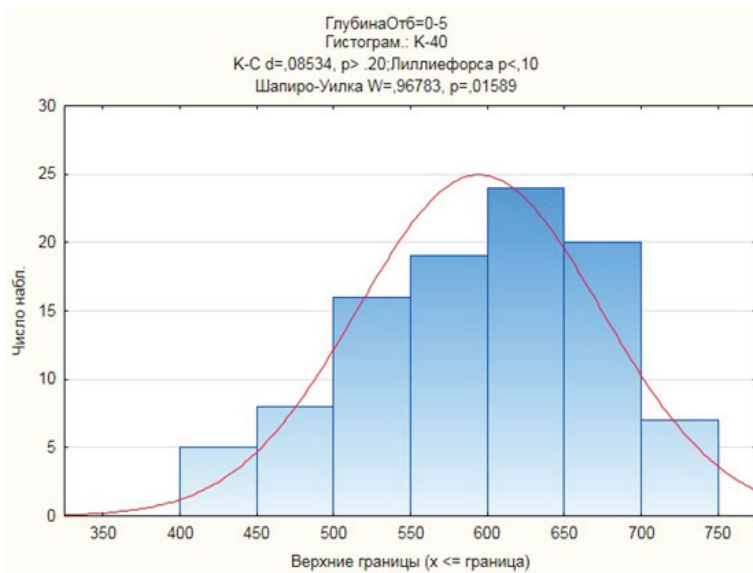


Рисунок 3а. Частотная гистограмма для  $^{40}\text{K}$  (глубина отбора проб 0-5 см)

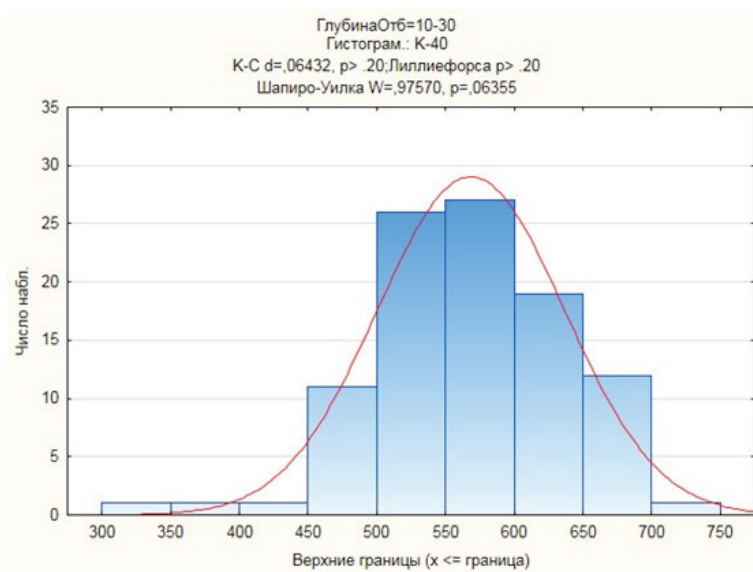


Рисунок 3б. Частотная гистограмма для  $^{40}\text{K}$  (глубина отбора проб 10-30 см)

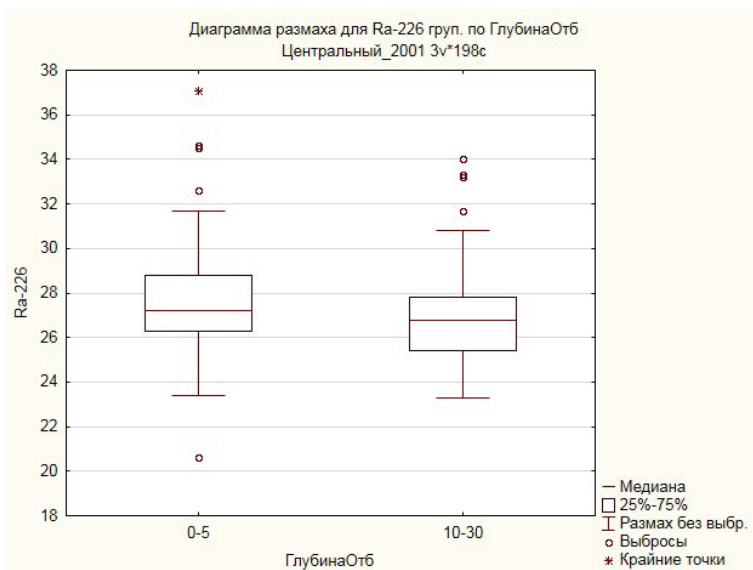


Рисунок 4. Диаграмма размаха для  $^{226}\text{Ra}$

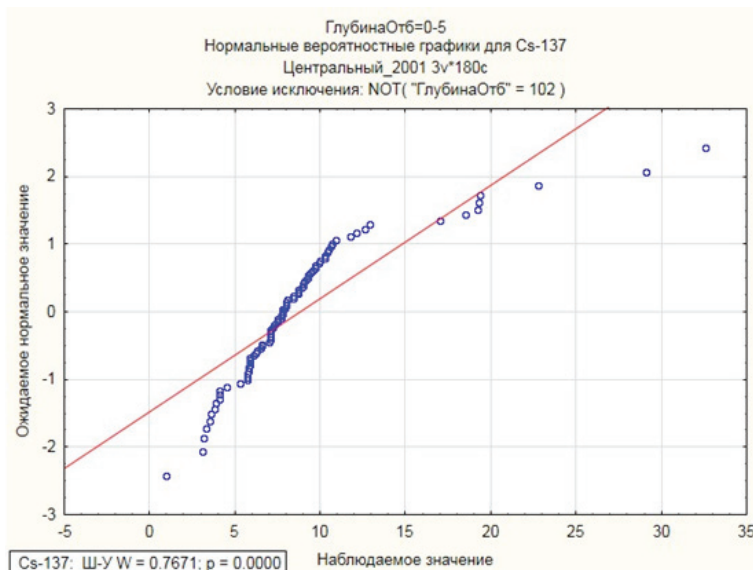


Рисунок 5а. Нормально-вероятностные графики для  $^{137}\text{Cs}$   
(глубина отбора проб 0-5 см)

Наиболее наглядное представление о распределении дает график кривой Гаусса. Он симметричен относительно среднего значения. На рисунках 3а и 3б, где



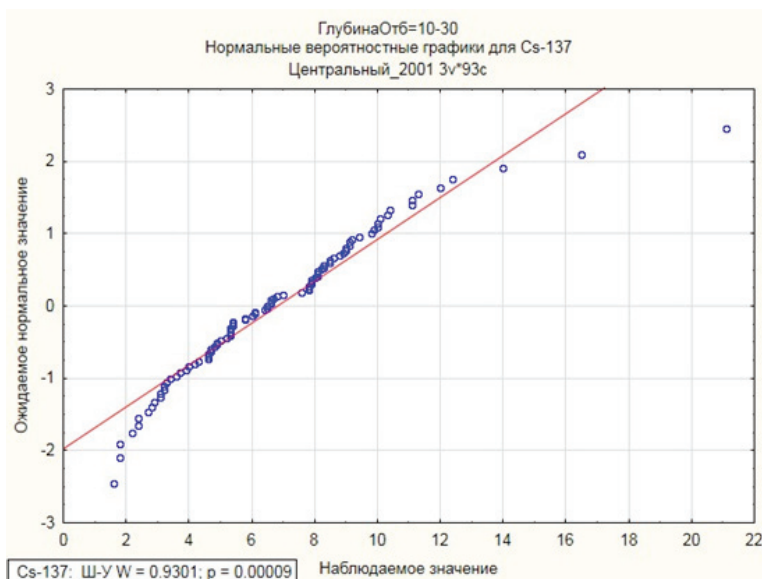


Рисунок 5б. Нормально-вероятностные графики для <sup>137</sup>Cs (глубина отбора проб 10-30 см)

в качестве примера приведена гистограмма для <sup>40</sup>K, красная линия – это теоретическая нормальная колоколообразная кривая Гаусса. Визуальная оценка нормальности распределения по графику может оказаться затруднительной, поэтому дополнительно используется математически рассчитанный уровень значимости «р» по критерию Шапиро-Уилка. Если уровень значимости «р» < 0,05, то гипотеза о нормальности отклоняется.

Для <sup>40</sup>K получены следующие результаты: по критерию Шапиро-Уилка распределение считается ненормальным, в то же время по критерию Колмогорова-Смирнова «р» > 0,2, следовательно, гипотеза о нормальности распределения не отклоняется.

По этой причине оба ряда наблюдений были проанализированы как по Т-критерию Стьюдента (рисунок 6а), так и U-критерию Манна-Уитни (рисунок 6б).

Т-критерии; Группир.: ГлубинаОтб (Центральный_2001)											
Группа 1: 10-30											
Группа 2: 0-5											
Переменная	Среднее 10-30	Среднее 0-5	t-знач.	сс	р	N набл. 10-30	N набл. 0-5	Ст.откл. 10-30	Ст.откл. 0-5	F-отн. дисперс.	р дисперс.
К-40	568,5253	594,7727	-2,50265	196	0,013144	99	99	68,01473	79,14265	1,353989	0,135337

U критерий Манна-Уитни (Центральный_2001)							
По перем. ГлубинаОтб							
Отмеченные критерии значимы на уровне p < 0,05000							
Перем.	Сум.ранг 10-30	Сум.ранг 0-5	U	Z	р-уров.	Z скорр	р-уров.
К-40	8829,500	10871,50	3879,500	-2,53129	0,011365	-2,53130	0,011365
							N 10-30 99
							N 0-5 99

Рисунок 6. Результаты статистического анализа для <sup>40</sup>K

В результате получен уровень значимости «р», который при наличии влияния фактора на отклик не должен превышать допустимой предельной ошибки, равной 0,05. Так как полученные уровни  $p=0,013$  и  $p=0,011$ , что меньше 0,05, то можно утверждать о влиянии фактора «Глубина отбора» на удельную активность  $^{40}\text{K}$ .

Установлено, что величина удельной активности  $^{40}\text{K}$ , как  $^{226}\text{Ra}$ , возрастает с увеличением глубины отбора, в то же время удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  падает. Следовательно, механизм поступления в почву естественных и искусственных радионуклидов различен.

Выявлено, что существует статистически значимое влияние глубины отбора проб почвы на измеренную удельную активность естественных радионуклидов ( $^{226}\text{Ra}$  и  $^{40}\text{K}$ ) и искусственного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ . При этом величина удельной активности естественных радионуклидов с глубиной растет, а искусственных падает.

### **ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ НА УДЕЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ РАДИОНУКЛИДОВ**

Для оценки изменения удельной активности радиоактивных изотопов с течением времени из ГИС-проекта «Лира» были выбраны данные исследований, выполненных в период с 1999 по 2017 годы на территории населенных пунктов.

За эти годы в восьми населенных пунктах были дважды проведены обследования с интервалом в 9-18 лет (таблица 3). Для обработки были отобраны результаты измерений удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в пробах почвы с глубины 0-5 см. В качестве контрольных параметров взяты значения удельных активностей естественных радионуклидов ( $^{40}\text{K}$  и  $^{226}\text{Ra}$ ). В пробах из населенного пункта Успеновка сопоставлялись результаты измерений удельных активностей  $^{40}\text{K}$  и  $^{137}\text{Cs}$  (измерений удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  не проводилось).

**Таблица 3. Населенные пункты и годы обследования**

№ п/п	Поселок	Годы обследования	
1	Акбулак	2003	2012
2	Аксай	2002	2014
3	Березовка	2001	2012
4	Бестау	2003	2014
5	Жанаталап	2002	2017
6	Карашыганак	1999	2017
7	Пугачево	2003	2014
8	Успеновка	2003	2013

На начальном этапе было выполнено построение диаграмм размаха, которые оперативно позволяют оценить изменение удельной активности радионуклида (рисунки 7-9).

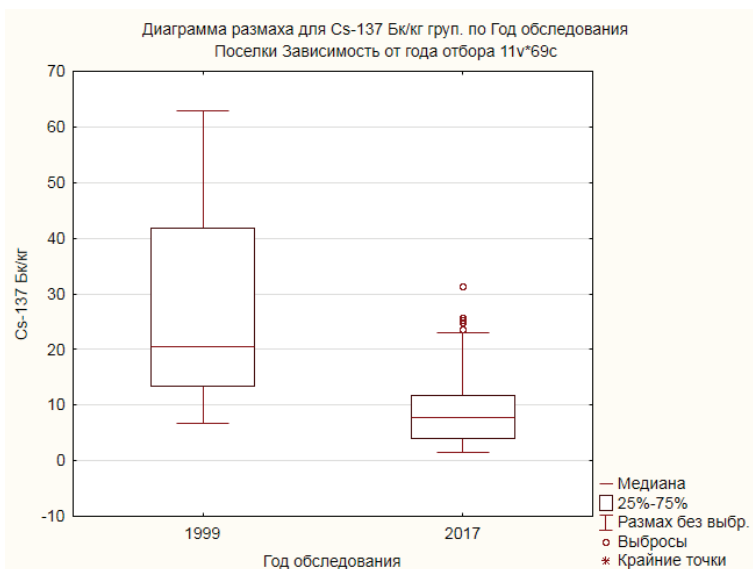


Рисунок 7. Диаграмма размаха для  $^{137}\text{Cs}$  в поселке Карачаганак



Рисунок 8. Диаграмма размаха для  $^{40}\text{K}$  в поселке Берзовка

На основе анализа диаграмм размаха по всем населенным пунктам отмечено, что уменьшение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  происходит повсеместно. В то же время по естественным радионуклидам, как и предполагалось, значимых изменений не произошло.

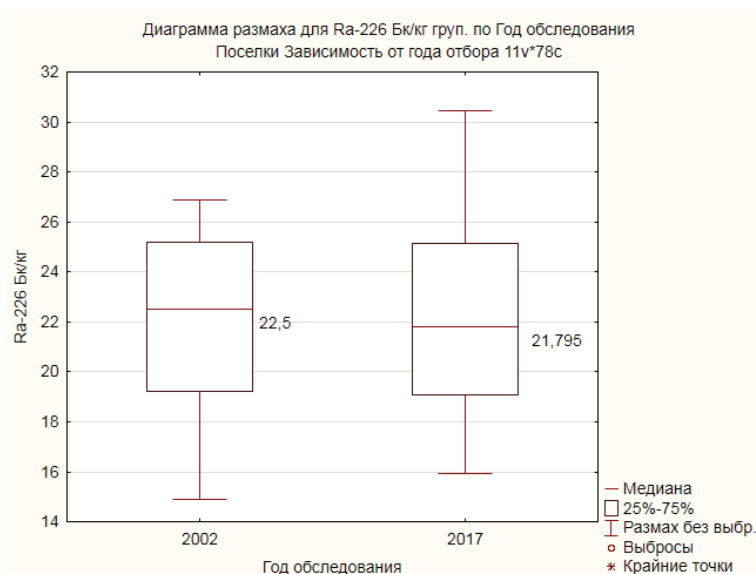


Рисунок 9. Диаграмма размаха для  $^{226}\text{Ra}$  в поселке Жанаталап

Для большей убедительности проведено сопоставление данных с использованием t-критерия Стьюдента, при нормальном распределении данных, и U-критерия Манна-Уитни, при ненормальном распределении.

По полученной величине уровня значимости «р» сделан вывод о статистически значимом уменьшении удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  во времени; и отсутствии изменений для естественных радионуклидов. Тенденцию к снижению содержания  $^{137}\text{Cs}$  в поверхностном слое почвы можно объяснить механизмом распада радионуклида (период полураспада  $^{137}\text{Cs}$  - 30,17 лет).

Изменение во времени удельной активности  $^{40}\text{K}$  и  $^{226}\text{Ra}$  статистически незначимо, то есть можно говорить об отсутствии влияния временного промежутка в 10-18 лет на величину удельной активности  $^{40}\text{K}$  и  $^{226}\text{Ra}$ .

Установлено, что существует статистически значимое отличие измерений удельных активностей радионуклидов в почвах, выполненных в разное время.

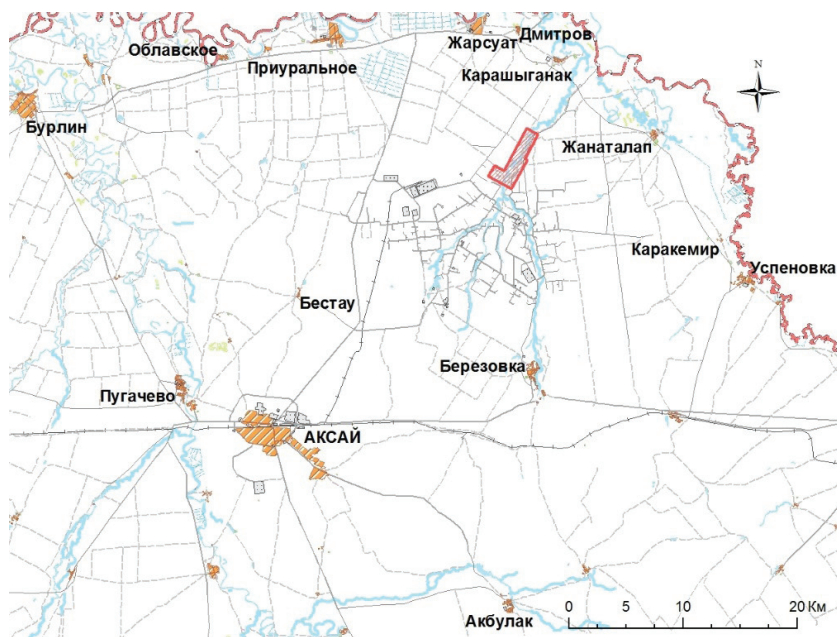
### ВЫЯВЛЕНИЕ РАЗЛИЧИЙ В УДЕЛЬНЫХ АКТИВНОСТЯХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ОБЪЕКТАМ ЛИРА

Для статистической обработки результатов было сформировано 2 группы населенных пунктов, расположенных на разном расстоянии и в разном направлении от объектов ЛИРА. Обследование I группы поселков происходило в 2003 году,

II группы – после 2010 года. Ближайший к объектам ЛИРА населенный пункт – п. Карачаганак (9 км), остальные населенные пункты расположены на расстоянии от 11 до 38 км (таблица 4, рисунок 10).

**Таблица 4. Данные для статистической обработки**

Группа	Населенный пункт	Расстояние от объектов ЛИРА (км)	Дата обследования (год)	Количество измерений
I	Акбулак	38	2003	14
I	Бестау	22	2003	23
I	Пугачево	34	2003	36
I	Успеновка	22	2003	34
I	Карачаганак	9	1999	16
I	Дмитров	11	2002	17
I	Жарсуат	12	2000	64
I	Приуральное	19	2003	41
II	Акбулак	38	2012	61
II	Карачаганак	9	2017	52
II	Жанаталап	12	2017	58



*Рисунок 10. Район обследования*

На диаграмме размаха для  $^{137}\text{Cs}$  видно, что медианные значения в поселках Дмитров и Карачаганак почти одинаковы и заметно выше, чем в других населенных пунктах. Вторая группа почти равных значений – поселки Приуральное и Жарсуат. В поселках Акбулак, Бестау, Пугачево и Успеновка медианы ниже 10 Бк/кг (рисунок 11).

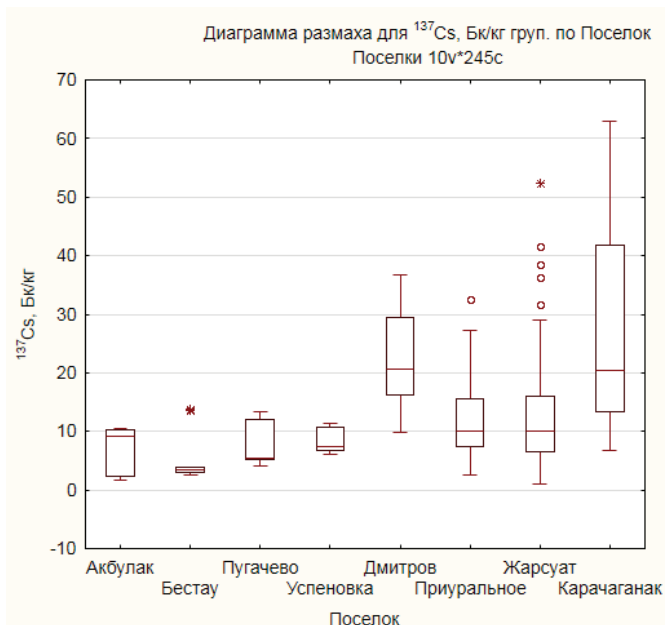


Рисунок 11. Диаграммы размаха по результатам исследований 2003 года

При анализе групп в совокупности по параметру  $^{137}\text{Cs}$  получены следующие результаты (рисунок 12).

Ранговый ДА Краскела-Уоллиса; $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг (Поселки) Груп. (независ.) переменная: Поселок Кр.Краскела-Уоллиса: $H(7, N=245) = 83,13353$ $p = ,0000$						
Зависим.: $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	Код	Допуст N	Сумма Рангов	Среднее Ранг		
Акбулак	101	14	1340.000	95.7143		
Бестау	102	23	1045.500	45.4565		
Пугачево	103	36	3182.500	88.4028		
Успеновка	104	34	3738.500	109.9559		
Дмитров	105	17	3463.000	203.7059		
Приуральное	106	41	5603.500	136.6707		
Жарсуат	107	64	8568.000	133.8750		
Карачаганак	108	16	3194.000	199.6250		

Рисунок 12. Результаты статистического анализа удельных активностей  $^{137}\text{Cs}$  в почве населенных пунктов

Уровень значимости «р» для  $^{137}\text{Cs}$  меньше 0,05 - различие существенно, следовательно, в одном или нескольких населенных пунктах удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в почве выше, чем в других.

Для выявления особенных населенных пунктов было проведено попарное сравнение. Поскольку поселок Карачаганак – самый близкий к объектам ЛИРА населенный пункт, пары были сформированы по принципу - каждый населенный пункт сравнивался с Карачаганак.

Уровень значимости для каждой из пар оказался ниже 0,05 исключение составила пара Карачаганак – Дмитров, где «р»=0,8.

Следовательно, значения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в почве поселков Карачаганак и Дмитров отличается от других населенных пунктов.

Для подтверждения полученных результатов были проанализированы результаты обследования населенных пунктов, проведенных в 2012 и 2017 годах.

Полученные результаты также показывают, что почвы поселка Карачаганак отличаются от почв поселков Акбулак и Жанаталап (рисунок 13).

Зависим.: $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	Ранговый ДА Краскела-Уоллиса; $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг (Поселки) Груп. (независ.) переменная: Поселок Кр.Краскела-Уоллиса: $H(1, N=110)=12.69021$ $p=,0004$			
	Код	Допуст N	Сумма Рангов	Среднее Ранг
<b>Жанаталап</b>	101	58	2624.000	45.24138
Карачаганак	102	52	3481.000	66.94231

Рисунок 13. Сопоставление удельных активностей  $^{137}\text{Cs}$  в почвах поселков Жанаталап и Карачаганак

Величина уровня значимости «р» критерия Краскела-Уоллиса составляет 0,0004, что меньше 0,05. Следовательно, существует статистически значимое различие. В то же время сравнение удельных активностей  $^{137}\text{Cs}$  в почвах поселков Жанаталап и Акбулак не фиксируется (рисунок 14). Величина уровня значимости «р» = 0,155, что > 0,05.

Зависим.: $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	Ранговый ДА Краскела-Уоллиса; $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг (Поселки) Груп. (независ.) переменная: Поселок Кр.Краскела-Уоллиса: $H(1, N=119)=2.022700$ $p=,1550$			
	Код	Допуст N	Сумма Рангов	Среднее Ранг
<b>Жанаталап</b>	101	58	3212.500	55.38793
Акбулак	103	61	3927.500	64.38525

Рисунок 14. Сопоставление удельных активностей  $^{137}\text{Cs}$  в почвах поселков Жанаталап и Акбулак

Объяснением таких результатов может служить тот факт, что при создании подземного резервуара ТК-2 в июле 1983 года вместе с выбросом облака благород-

ных газов, возможно, произошла и утечка радиоактивных изотопов, в том числе  $^{137}\text{Cs}$ . Ветровыми потоками облако было отнесено в северном направлении, где расположены поселки Дмитров и Карачаганак (рисунок 10).

## ВЫВОДЫ

Существует статистически значимое влияние глубины отбора проб почвы на измеренную удельную активность естественных радионуклидов ( $^{226}\text{Ra}$  и  $^{40}\text{K}$ ) и искусственного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ . При этом величина удельной активности естественных радионуклидов с глубиной растёт, а искусственных падает.

Существует статистически значимое изменение во времени величины удельной активности  $^{137}\text{Cs}$ , обусловленное его радиоактивным распадом. Изменение во времени удельной активности  $^{40}\text{K}$  и  $^{226}\text{Ra}$  статистически не значимо.

Существует статистически значимое отличие удельных активностей радионуклидов в почвах населенных пунктов, прилегающих к объектам ЛИРА.



## РЕГЕНЕРАЦИЯ ОТРАБОТАННОГО ЭКСТРАГЕНТА УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА АО «УМЗ»

**Болтанов А.В., Корнилович М.В., Ярошенко Н.Н.,  
Русин Ю.Г., Романова К.Б.**

АО «УМЗ», Усть-Каменогорск, Казахстан

В экстракционной технологии уранового производства АО «УМЗ» традиционно применяют в качестве экстрагента трибутилфосфат (ТБФ) в разбавителе. Состав разбавителей, за многолетний период работы действующей технологии претерпевал постоянные изменения и корректировался в соответствии с ассортиментом, имеющих место рыночных предложений. Обладая различным составом и физико-химическими свойствами, разбавители имеют разную чувствительность к радиоактивному и химическому воздействию перерабатываемых растворов и проявляют большую или меньшую способность к радиолизу и гидролизу.

Отработанная технология регенерации экстрагента, применяемая в настоящее время в урановом производстве, обеспечивает полноту извлечения продуктов разложения ТБФ и не рассчитана на глубокую регенерацию от продуктов разрушения разбавителей нового типа. Отсутствие возможности вывода продуктов разложения разбавителя, приводит к постепенному ухудшению экстракционных свойств экстрагента, вплоть до полной утраты его рабочих свойств. В АО «УМЗ» было накоплено значительное количество экстрагента с повышенным содержанием урана, регенерация которого, по существующей технологии карбонатной промывки невозможна. Для поиска способа извлечения урана из зарезервированного отработанного экстрагента на базе лаборатории ядерно-топливного цикла Научного центра провели ряд исследований.

В связи с тем, что традиционная карбонатная промывка экстрагента, основанная на способности продуктов разложения ТБФ в присутствии карбоната натрия образовывать натриевые соли, с переводом последних в водную фазу не дает желаемого эффекта, опробовали прием извлечения урана из экстрагента посредством применения дополнительных комплексообразующих агентов.

В качестве комплексообразователя использовали раствор щавелевой кислоты. Было отобрано несколько проб из разных позиций. Пробу отработанного экстрагента обработали раствором  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  при комнатной температуре в делительной воронке методом ручного встряхивания. Исследуемые пробы в процессе промывки вели себя по-разному. В одних после деления образовывалось две фазы – водная и органическая. Наблюдение за процессом деления других показало формирование в органической составляющей смеси продуктов окисления с постепенным их уплотнением и переводом в твердую фазу. По окончании формирования, выделенные из экстрагента продукты разложения сконцентрировались в нижней части делительной воронки и легко были удалены из экстракционной системы. Время деления фаз не превысило 1 мин. Динамика выделения продуктов разложения экстрагента приведена на снимках рисунка 1.

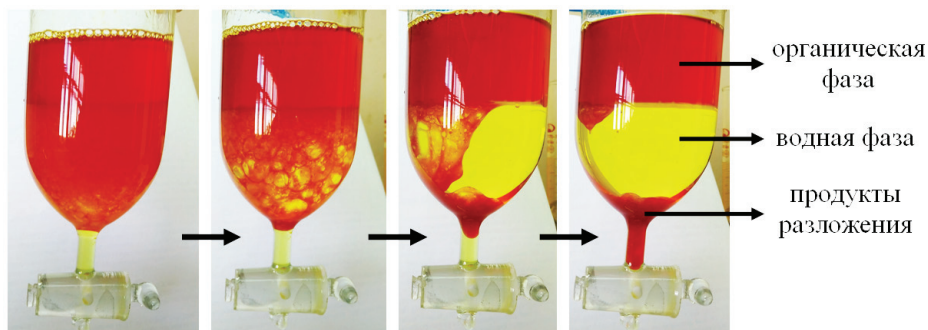


Рисунок 1. Формирование и вывод продуктов разложения экстрагента

Второй контакт промывки органической фазы со свежим раствором дал возможность снизить концентрацию урана в органической фазе до сбросных концентраций.

Органическую фазу обработали раствором  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в две прямоточные ступени и проверили экстракционную пригодность регенерированного экспериментальным способом экстрагента. Тестирование показало полное восстановление его экстракционных свойств с обеспечением степени насыщения, близкой к теоретической и достижением требуемой полноты извлечения урана при реэкстракции.

Для проверки возможности интенсификации операции щавелевокислой промывки провели исследования по изучению влияния температуры, концентрации  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  и соотношения задействованных фаз на целевые показатели процесса. Указанные приемы не привели к более полной регенерации органической фазы, в связи с чем, опробованный режим промывки был признан оптимальным.

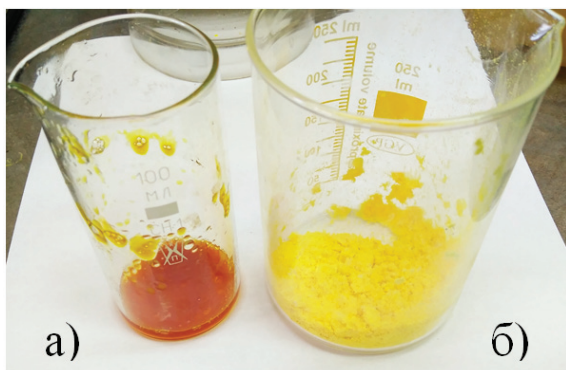


Рисунок 2. Продукты разложения:  
а) после отделения, б) после фильтрации

После проведения регенерации экстрагента образуются щавелевокислые растворы первого и второго контактов. Промывные растворы второго контакта, как показали результаты исследований, можно использовать циклично несколько раз, затем объединять с растворами первого контакта и направлять на операцию осаждения полиурата аммония (ПУА). При осаждении урана аммиачной водой из объединенных щавелевокислых растворов, в условиях лаборатории ядерно-топливного цикла, получены разрешенные для сброса маточные растворы.

Отделенные на первой стадии щавелевокислой обработки продукты разложения экстрагента представляют собой текучую пластичную массу внешнего вида, приведенного на снимке рисунка 2а. После фильтрации, физическое состояние выделенных продуктов разложения преобразуется в рыхлый, легкоотделяемый твердый осадок, рисунок 2б.

В связи с тем, что имеющее место содержание урана в осадках исключает возможность прямого захоронения, провели исследования по поиску способа их утилизации.

Прокаливание твердых продуктов разложения экстрагента при температуре протекало с образованием пламени. Для исключения воспламенения, образец твердого продукта смешали с пастой ПУА и прокалили в течение часа. Термическое разложение твердой органической составляющей продуктов разложения экстрагента в составе смеси проходило без образования пламени и повышенного выделения газов.

Полученную закись-окись растворили. Азотнокислые урансодержащие растворы проверили на экстракционную пригодность. Тест на «эмульгируемость» показал отсутствие образования эмульсий, медуз и третьей фазы на границе раздела. Время разделения органической и водной фаз не превышало 2 минут.

Проведенный тест подтвердил возможность утилизации твердых продуктов разложения экстрагента посредством прокаливания в смеси с пастой ПУА с последующей переработкой закиси-оксида урана через растворение и экстракционный аффинажный процесс. Для подтверждения эффективности разработанного способа были проведены промышленные испытания.

Проведение настоящих промышленных испытаний позволило установить эффективность процесса отмывки отработанного экстрагента с применением щавелевокислого промывного агента. Реализованные поисковые исследования позволили разработать принципиально новый способ переработки отработанного экстрагента АО «УМЗ» с возможностью возврата регенерированного экстрагента в технологический экстракционный процесс.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО АУДИТА ДЛЯ УЧЕТА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ ДОБЫЧИ

*Ташимов С.Е., Аманбай М.С., Никитина Ю.Г., Мырзабек Г.А.*  
ТОО «Институт высоких технологий», Алматы, Казахстан

**Цель проекта** – оценка текущего уровня развития производственной и инновационной деятельности рудников месторождений АО «НАК «Казатомпром» возможности модернизации производственно-технологической базы, внедрения организационных изменений, перспектив инновационно-технологического развития с позиций решения стратегических задач и повышения операционной эффективности.

Также целью проекта является возможность сформировать экономически обоснованную стратегию извлечения дохода из результатов инновационной деятельности, направленной на создание различных объектов интеллектуальной собственности.

### Технологический аудит проводился в 3 этапа по 5-ти предметным областям

- Этап 1. Сбор исходных данных по текущему состоянию уровня производства.
- Этап 2. Анализ исходных данных для оценки текущего состояния технического и технологического уровня производства.
- Этап 3. Разработка практических рекомендаций, оформление результатов технологического аудита.

Предметные области аудита:

1. фактическое состояние и движение запасов урана, эффективность отработки технологических блоков;
2. технологическая схема сорбционно-десорбционной переработки ПР и получения ГП;
3. деятельность физико-химической лаборатории;
4. система электроснабжения;
5. применяемые управленческие технологии и оценка готовности компании к инновациям.

Этап/объект ТА	Виды проводимых работ
1	2
Минерально-сырьевая база (МСБ), горно-подготовительные работы (ГПР) и добыча урана	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ фактического состояния и движения запасов урана по всем категориям (балансовые, вскрытые с учетом их подтверждения по результатам вскрытия, подготовленные, готовые к добыче, погашенные).</li> <li>2. Анализ эффективности отработки технологических блоков в части:</li> </ol>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• соответствия фактических удельных норм расхода кислоты и электроэнергии утвержденным удельным нормам;</li> <li>• соответствия фактических коэффициентов извлечения урана из недр коэффициентам извлечения, утвержденных проектом;</li> <li>• затрат на проведение ремонтно-восстановительных работ (РВР) и эффективности РВР;</li> <li>• затрат на обвязку блоков;</li> </ul> <p>3. Анализ полноты данных по информационному обеспечению геологоразведочных работ и геотехнологии извлечения запасов. Анализ достоверности, качества и полноты геолого-геофизических данных в цифровых базах ГГИС предприятия на стадии проектирования и отработки месторождения.</p> <p>4. Разработка рекомендаций по оптимизации процессов проведения ГПР, добычи урана, проведению РВР, повышению их эффективности и внесению изменений в проектную документацию.</p>
--	---

#### **Анализ достоверности, качества и полноты геолого-геофизических данных по скважинам технологических блоков**

На рассматриваемых технологических блоках была проведена проверка и анализ данных геофизических исследований скважин (ГИС), методика и достоверность первичных материалов проводимых работ.

- настройки и калибровки геофизической аппаратуры (журналы градуировки и калибровки геофизических приборов);
- контроль гамма-каротажа в производственных скважинах;
- поправочные коэффициенты, используемые при интерпретации геофизических данных;
- рассмотрение первичных материалов на соответствие приведенных в технических отчетах.

Проведя анализ и проверку первичных данных геофизических исследований скважин, методику выполнения измерений, применение поправочных коэффициентов и зависимостей при интерпретации геофизических данных, а также отображение, хранение и использование полученной информации рекомендуется:

- при проведении геофизических исследований и интерпретации данных неукоснительное выполнение требований инструкции;
- приведение в порядок геолого-геофизической базы данных на соответствие окончательной интерпретации рудных интервалов принятых паспортных значений;
- соответствующее корректное отображение информации на разрезах, планах и в таблицах вывода средних параметров рудных интервалах и как следствие подсчета запасов.

## Анализ и оценка данных геологоразведочных работ и извлечения запасов, выявление негативно влияющих факторов на отработку блоков ПСВ

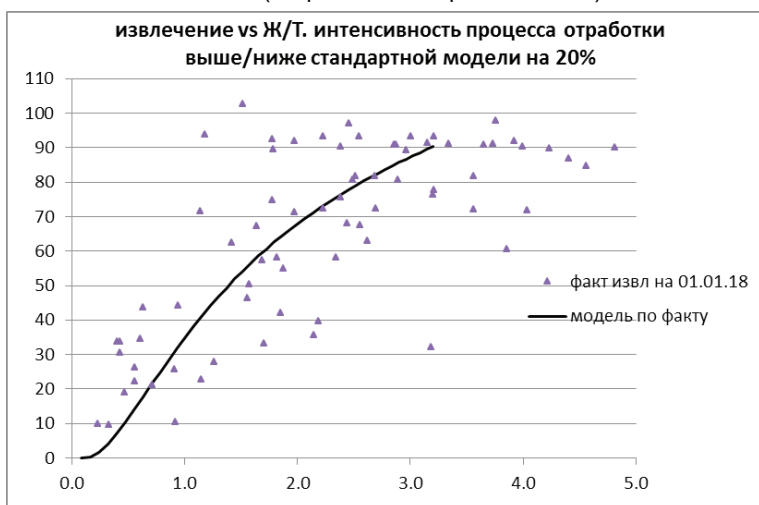
Исходные данные:

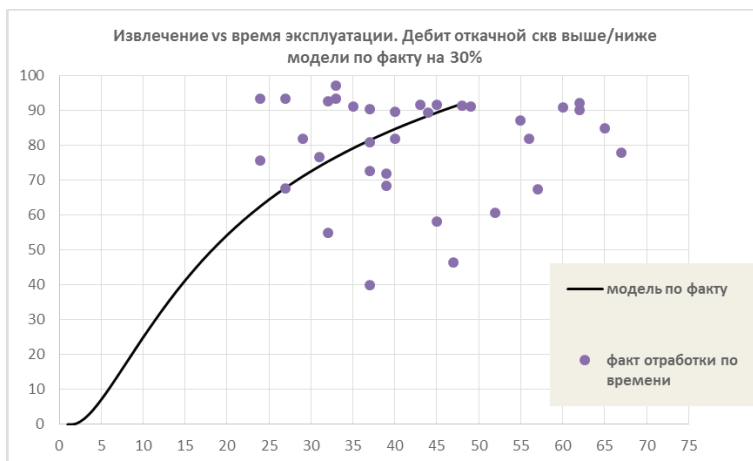
- изучены сводные таблицы вывода средних параметров уранового оруденения технологических блоков;
- проведено сопоставление данных с информацией на графических материалах (планы, разрезы);
- проведено сопоставление данных с информацией, размещенной в геолого-геофизической базе данных АтомГео;
- проведен анализ фактического состояния и движения запасов урана;
- таблицы движения вскрытых, подготовленных и готовых к добыче запасов урана в недрах;
- таблицы движения балансовых и вскрытых запасов урана в недрах;
- отчетный баланс запасов урана по объектам, эксплуатируемым способом ПСВ.

### МОДЕЛЬНЫЕ КРИВЫЕ ДОБЫЧИ И МОДЕЛИ ПО ФАКТУ

Так как разброс по факту Ж/Т или факту времени эксплуатации слишком велик, то введем дополнительные критерии, определяющие уровень критичности отставания блоков.

- Кривые, расположенные справа от модельной, демонстрируют ухудшение условий отработки (неважно, тому причиной усложнение геологических условий или человеческий фактор);
- Каждая из кривых ухудшает входные коэффициенты на 10% по сравнению с предыдущей. При этом ухудшение на -30% по сравнению с моделью по факту, приводит к не достижению контрактного извлечения за 10 лет, следовательно, блоки, соответствующие этой кривой, нуждаются в сооружении дополнительных скважин (закрытии бесперспективных).

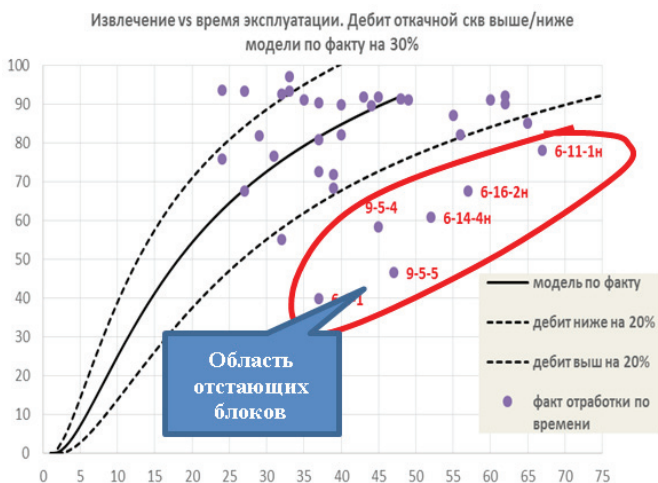




### МОДЕЛИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТСТАЮЩИХ БЛОКОВ

Если нанести из предыдущего графика кривые, определяющие ухудшение/улучшение входных условий на 20% (так как -30% неприемлемо), для графиков по Ж/Т и по времени, то получим ряд блоков, извлечение металла из которых – без принятия дополнительных мер, а это, скорее всего, пере- и добуры скважин в приемлемое время представляется недостижимым.



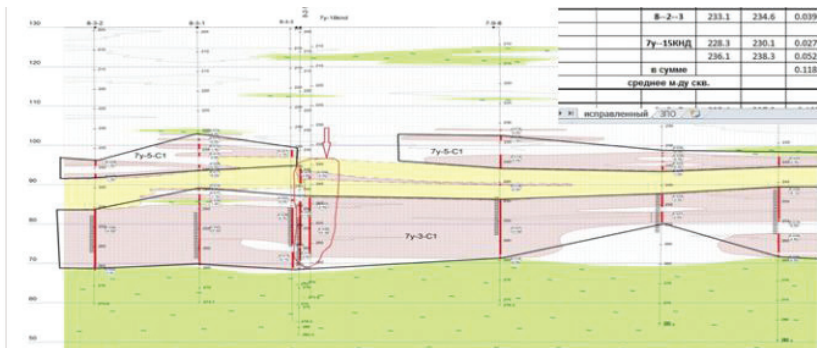


В ходе проверки материалов подсчета вскрываемых запасов технологических блоков 1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7 месторождения выявлены следующие не соответствия:



Блок	ГРМ, тыс. т	Прод, кг/м <sup>2</sup>	Запасы, т	Ж/Т	Извл, %
1	1167	1,06	85,6	2,94	66,7
2	868	2,75	125	3,51	45,3
3	3138	2,4	214,7	1,89	52,5
4	1460	1,9	84,8	2,04	89,1
5	708	1,62	69	3,04	97,4
6	684	1,33	49	1,9	36,2
7	1070	2,33	150	1,39	39

Выявлено расхождение параметров рудных интервалов внесенных в сводные таблицы вывода средних параметров технологических блоков с параметрами, внесенными на геологические разрезы и размещенными в АтомГео.





**ТАБЛИЦА**

**вывода средних мощностей и содержания урана по пересечениям**

стр.1

№ п/п	№про-филей (ряда)	№ скважин	Залежь 7у блок 8		метро-процент тС.м%	рудная мощ-ность т. м	содер-жание урана С. %	приве-денный метро-процент тС.м%	М зак. м	мощность глинист. прослоев исключ из мощ. блока м.
			интервалы м от	до						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Среднее м-у скв. 36-3-2 и 7а-3-1					0.2329	11.6	0.020	0.1160		
	8-2-1	253.3	259.2	0.3127	5.9	0.053		16.3	0.8	
		260	263	0.0540	3.0	0.018				
	7у-18ЮИД	253.3	255.6	0.2553	2.3	0.111				
		258.4	263	0.3082	4.6	0.067				
	в сумме			0.9302	15.8					
	среднее м-ду скв.					0.059	0.4651			
	8-2-2	246.6	251.9		5.3	0.038	0.2014	18		
	8-2-3	233.1	234.6	0.0390	1.5	0.026		18		
	7у-15ЮИД	228.3	230.1	0.0270	1.8	0.015				
		236.1	238.3	0.0528	2.2	0.024				
	в сумме			0.1188	5.5					
	среднее м-ду скв.				2.75	0.022	0.0994			

### В ходе проведения аудита было установлено

Основным фактором несоответствия является проведение частичной повторной интерпретации данных ГИС в зонах возможного развития радиевых ореолов, без последующего приведения в соответствии параметров во всех информационных носителях.

При систематизации всех материалов ранее выполненных работ, с разработкой методических нормирующих (рекомендующих) документов по проведению интерпретации гамма-каротажа в областях развития радиевых ореолов, возможно сокращение запасов принятых к отработке, как по технологическим блокам, так и в целом по месторождению.

На основании анализа и оценки геологических данных рекомендуется:

1. Привести в соответствие данные по всем информационным носителям, в том числе в таблицах вывода средних параметров уранового оруденения технологических блоков, на разрезах и в геолого-геофизической базе данных АтомГео автоматизированной системы управления добычей металлов «Рудник».
2. Привлечь компетентные организации по систематизации накопленных материалов радиологической зональности по месторождению, с разработкой методических рекомендаций по интерпретации данных гамма-каротажа в зонах развития радиевых ореолов.
3. На основании разработанных методических рекомендаций провести пересчет запасов по технологическим блокам и в целом по залежи 1у.
4. В дальнейшем соблюдать методические рекомендации по подземному скважинному выщелачиванию, в частности по геологическому сопровождению

работ по ПСВ, а также алгоритмы автоматизированной системы управления добычей металлов «Рудник».

Анализ факторов влияющих на процесс отработки анализируемых технологических блоков месторождения:

- таблица фактически достигнутых результатов в отработке;
- графики сопоставления одной из моделей, наиболее близкой факту извлечения данного блока, модели, подобранной по факту Ж/Т, и собственно факта;
- факт и прогноз содержания урана в ПР по наиболее близкой модели и модели по факту;
- таблица сравнения модели по факту и фактически достигнутых базовых параметров;
- базовый график взаимозависимостей основных параметров добычи – содержания, объема ПР в месяц, количество кислоты в месяц;
- дополнительные графики и диаграммы для иллюстрации зависимостей извлечения (содержания) от количества работающих скважин, количества урана в ПР в месяц;
- карты и разрезы блока.

По результатам анализа факторов влияющих на процесс отработки можно отметить:

- отсутствие разрезов для некоторых блоков (или не были представлены);
- нет данных по объемам откачки-закачки для технологических скважин большинства блоков;
- для большинства анализируемых блоков характерна переоценка вскрытых запасов;
- для части блоков следует признать не совсем удачной схему вскрытия, часть ячеек являются забалансовыми;
- для ряда проанализированных блоков характерны низкие дебиты;
- много примеров неудачной посадки фильтров.

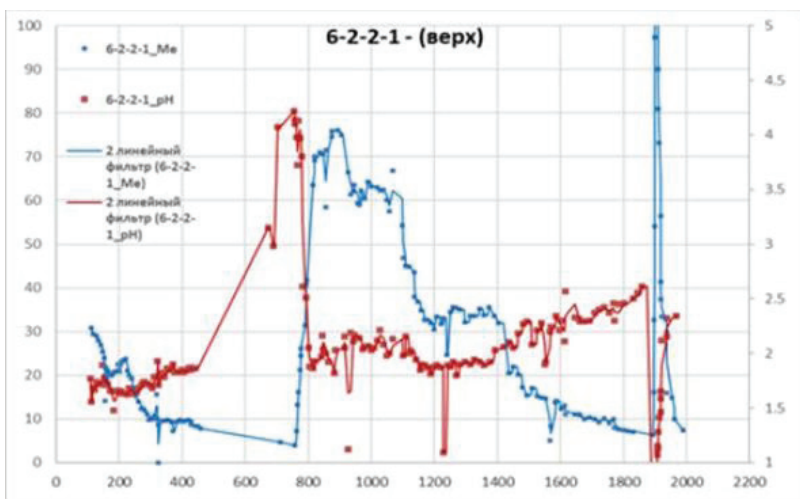
### **АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КИСЛОТЫ**

Для блоков, приуроченных к верхнему уровню уюкских руд характерно следующее:

- м/з рудные пески, с большим количеством алевро-глинистого заполнителя, с невысокими коэффициентами фильтрации;
- повышенная кислотоемкость, причем потребление кислоты растет с ростом концентрации раствора.

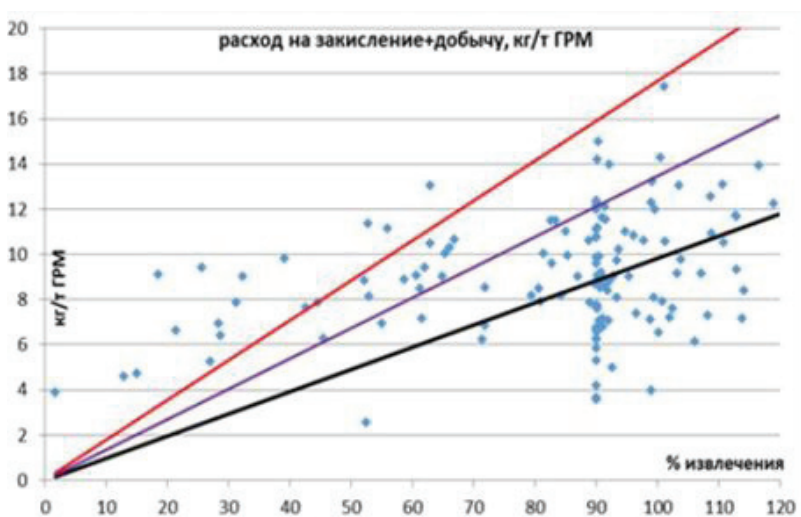
Если сузить диапазон, выделяя те блоки, что отработали менее 90% и менее 80, то увидим три тренда, которые характеризуют средний блок по участку, и два типа более кислотоемких блоков (к ним относятся, в первую очередь, блоки уюкского уровня, и, прежде всего, те, что отработывают верхнюю часть горизонта).

- выводы и рекомендации по потреблению кислоты;
- уюкские руды, особенно приуроченные к концу цикла (верхний уюк) характеризуются повышенной кислотоемкостью;
- расход кислоты на добычу следует планировать, исходя из значений 10-



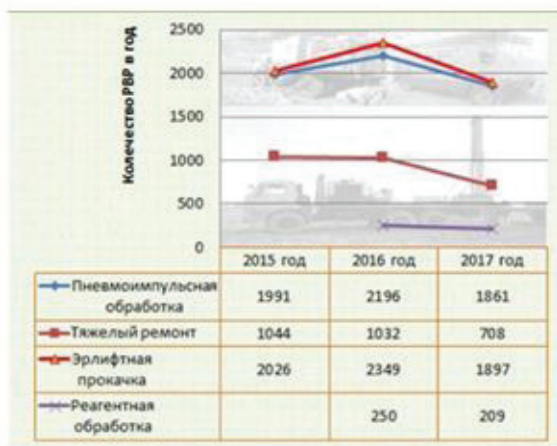
11 кг/т, на закисление 3-4 кг/т ГРМ. Суммарное потребление кислоты составит 13-15 кг/т ГРМ;

- при отработке уюкских руд желательно (для руд в верхах горизонта – обязательно) поддерживать остаточную кислотность в ПР около pH 1,8-2,0 до, по крайней мере, 70% извлечения вскрытых запасов до Ж/Т 1,2-1,4 (до 40-50% отработки) не следует опускать остаточную кислотность в ПР ниже 1,7-2,5 г/л (1,75-1,6 pH).

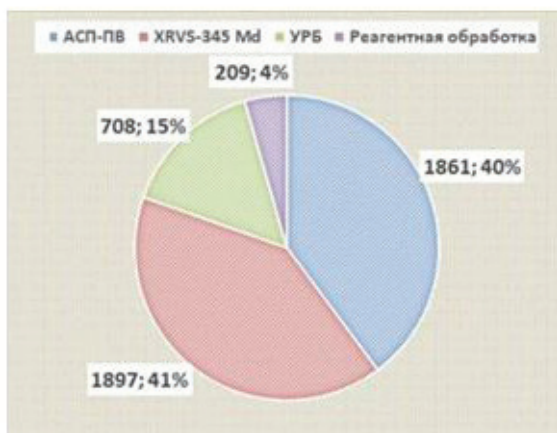


## АНАЛИЗ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Динамика проведения РВР скважин по годам 2015-2017 гг.



Количество РВР скважин по видам работ за 2017 год в количественном и % соотношении



## РЕКОМЕНДУЕТСЯ

1. Провести полный анализ РВР на руднике с целью выявления геологических, геохимических, геотехнологических и технических факторов, влияющих на эффективность РВР.

2. Изучить ранее проведенные научно-исследовательские работы по РВР скважин, в т.ч. по зависимости кольтматационных процессов от вещественного состава ГРМ.
3. Провести анализ результатов проводимых РВР:
  - анализ по разновидностям и эффективности РВР;
  - статистические закономерности по дебитам по росту дебитов/приёмистостей в зависимости от видов РВР и местоположения скважин (фильтров) в разрезе;
  - определение общих закономерностей поведения дебитов среднестатистической скважины;
  - оценка эффективности и межремонтного цикла;
  - оценка качества и сооружения и освоения скважин;
  - анализ основных геотехнологических и эксплуатационных характеристик процесса ПСВ, влияющих на качество проведения тех или иных видов РВР.
4. Определить критерии необходимости проведения РВР, зависящих от:
  - времени эксплуатации технологических скважин;
  - геолого-технологических условий нахождения скважин;
  - определение видов РВР, наиболее эффективных в зависимости от времени эксплуатации скважин и геолого-технологических характеристик разреза;
  - оценка эффективности: определение величины дебитов после освоения (после проведения РВР), межремонтного цикла зависящих от вида РВР, срока эксплуатации скважин и геолого-технологических характеристик скважин.
5. Определить технологические способы проверки эффективности проведения РВР.
6. Создать ежедневную обновляемую базу данных всех геотехнологических скважин для оперативной работы и введения учета работ между отделом геологии и бригадой РВР участка ГТП.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по гамма-каротажу при поисках и разведке урановых месторождений. – М.: Министерство геологии СССР, 1987 г.
2. Инструкция по гамма-каротажу на пластово-инфильтрационных месторождениях урана. – РК.: ОАО «Казатомпром», Алматы, 2009 г.
3. Хайкович И.М., Шашкин В.Л. Опробование радиоактивных руд по гамма-излучению. Теория и методика. – М.: Энергоатомиздат, 1982 г.
4. Инструкция по применению классификации запасов и к водородным месторождениям урана (Дополнение к Инструкции ГКЗ РК по применению классификации запасов к месторождениям радиоактивных руд), Астана, 2008 г.
5. Технический отчет предприятия ТО-25.
6. Инструкция по подземному скважинному выщелачиванию урана. Алматы, 2006 г.
7. Отчет о результатах детальной разведки участков ПСВ предприятий.

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ УРАНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Торбеков А.К.**

ЛИАМ ТОО «Институт высоких технологий», Таукент, Казахстан

АО «НАК «Казатомпром» – одна из ведущих мировых уранодобывающих компаний, национальный оператор Республики Казахстан по импорту-экспорту урана, редких металлов, ядерного топлива для атомных энергетических станций, специального оборудования, технологий и материалов двойного назначения.

Для сохранения мировой конкурентоспособности АО «НАК «Казатомпром» разработана Политика «Управление научно-технологической деятельностью», в соответствии с которой научные исследования координируются четырьмя научными центрами по следующим приоритетным направлениям:

1. Добыча и переработка продуктивных растворов, попутное извлечение РЗМ – на базе ТОО «Институт высоких технологий».
2. Геология, геотехнология и горно-подготовительные работы – на базе АО «Волковгеология».
3. Высокие технологии ЯТЦ, получение и переработка РМ – на базе ЦНИЛ АО «УМЗ».
4. Управление знаниями, коммерциализация интеллектуальной собственности, общая координация научно-технической деятельности – на базе Управления координации науки «АО «НАК «Казатомпром».

Товарищество с ограниченной ответственностью «Институт высоких технологий» (далее ТОО «ИВТ») было создано в АО «НАК «Казатомпром» 05 февраля 2002 года для решения стратегических задач атомной отрасли Казахстана: инновационного развития и технологического обновления отрасли, подъема качества и конкурентоспособности выпускаемой наукоемкой продукции, а также решения вопросов охраны окружающей среды.



Для развития аналитического сервиса в ТОО «ИВТ» была создана Лаборатория исследования и анализа материалов (ЛИАМ), которая находится на территории рудника «Канжуган» ТОО «Kazatomprom-SaUran».

Деятельность ЛИАМ направлена на совершенствование корпоративной программы единства измерений, развитие аналитического сервиса, улучшение методи-

ческой работы по разработке специализированных корпоративных стандартов, а так же на сопровождение научно-исследовательских работ в области добычи и переработки урана, редких и редкоземельных металлов (РМ и РЗМ), экологии. Создание ЛИАМ ориентирована на активно развивающуюся тенденцию сближения науки и производства, когда именно отечественные научные центры должны стать источником новых технологий и разработок для казахстанской промышленности.

Современное аналитическое оборудование и квалифицированный персонал Лаборатории позволяют решать различные задачи по следующим видам услуг:

- аналитическое сопровождение НИР в области геологоразведочных работ, добычи и переработки урана, РМ и РЗМ;
- разработка методик выполнения измерений РМ и РЗМ в продуктах уранового производства;
- проведение радиационных и экологических исследований;
- испытание ионообменных сорбентов для уранодобывающих предприятий;
- контроль проб грунтов, почвы, воды (сточной, природной, питьевой), технологических урансодержащих растворов;
- пробоподготовка образцов для выполнения различных видов анализа, в том числе: дробление, истирание, микроволновое разложение;
- радиационный контроль территорий, помещений, транспортных средств, упаковок, неповрежденной кожи, спецодежды.

В качестве базовых методов выбраны:

- метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП МС);
- методы атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП АЭС), атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС);
- методы спектрофотометрии, ИК-спектрометрии;
- методы электронной и оптической микроскопии;
- методы радиометрии, дозиметрии и альфа-, гамма-спектрометрии;
- химические методы и др.

Таким образом, в ЛИАМ сформирован большой комплекс методов измерений, позволяющий всесторонне исследовать образцы проб воды, продуктов переработки урана, РМ и РЗМ, материалов используемых в атомной промышленности.

Техническая компетентность Лаборатории исследования и анализа материалов как испытательной подтверждена ее аккредитацией в системе аккредитации Республики Казахстан на соответствие требованиям ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий». Область аккредитации, согласно которой осуществляются испытания продукции, постепенно будет расширяться в зависимости от потребности заказчиков.

В Лаборатории постоянно проводится работа по повышению квалификации ее специалистов. Сотрудники Лаборатории прошли курсы по обучению на атомно-абсорбционном спектрометре ICE 3300, масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ICAP-Qc, микроскопе Olympus BX51, атомно-эмиссионном спек-

тронетре iCAP 7400 («Thermo Fisher Scientific»), анализаторе углерода и серы ELTRA CS («Eltra GmbH») ТОО «Distrilab») и других приборах ЛИАМ.

ЛИАМ на сегодняшний день принимает участие в следующих проектах:

- Исследование влияния конкурирующих примесей (фтор-ион, монокремниевая кислота) на процесс сорбции-десорбции, денитрации урана и разработка способов удаления конкурирующих примесей из ионообменных смол.
- Проведение опытно-промышленных испытаний технологического процесса;
- Повышение степени извлечения урана (нулевой проскок).
- Анализ переработки ТД и выдача рекомендаций по оценке выпуска ГП (ЗОУ) в соответствии со стандартом «СТ НАК 02 2007».
- Входной контроль ионообменных смол для ДЗО АО «НАК «Казатомпром».
- Возврат части контрактной территории (геологического отвода), освобожденной от геологоразведочных работ, проект рекультивации отработанных участков.
- Проводятся отдельные работы по определению содержания Re, Sc, PЗМ для добычных предприятий АО «НАК «Казатомпром» с целью определения перспектив по их попутной добыче.

В дальнейшем, Лаборатория выделяет для себя следующие стратегические направления деятельности:

- повышение квалификации операторов с целью эффективного использования аппаратуры для решения научно-исследовательских задач;
- участие в проведении опытно-промышленных испытаний;
- аналитическое сопровождение научно-исследовательских проектов ТОО «ИВТ» и сторонних организаций;
- взаимодействие с ВУЗами РК с целью подготовки кадров для научно-исследовательской деятельности;
- публикация результатов научно-исследовательской работы в виде статей, тезисов докладов в изданиях с ненулевым импакт-фактором, методик выполнения измерений;
- расширение области аккредитации;
- сотрудничество с ведущими научными центрами исследования ядерных материалов.

Таким образом, ЛИАМ расширяет возможности ТОО «ИВТ» не только в сфере аналитических услуг, но и в сфере радиоэкологических исследований, развития инструментальной и аналитической базы системы учета и контроля ядерных материалов и позволит в будущем создать аналитический центр способный решать широкий спектр задач.



## **МЕТОДИКА СООРУЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН С ВРЕМЕННОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ ОТСТОЙНИКА**

**Тулепбергенов А.Т.**

Филиал «ЦОМЭ» АО «Волковгеология», Алматы, Казахстан

Сегодня в век информатизации предприятиям как никогда нужны молодые и перспективные специалисты, способные находить новые нестандартные подходы к решению сложных задач. Поддержка молодых специалистов в области научно-исследовательской и опытно-конструкторских работ является наиболее приоритетной задачей для АО «Волковгеология».

Делая огромный шаг вперед в 2012 году АО «Волковгеология» создала новое специализированное подразделение – Партия новых технологий бурения и поисков (ПНТБиП), приоритетной задачей которой, является инновационное развитие общества. Ударная и движущая сила ПНТБиП это молодые и перспективные специалисты, которые наряду с имеющимся большим багажом теоретических знаний и практики, имеют также желание и стремление достигать поставленных задач, ориентированных на развитие с учетом современных мировых научно-технических и инновационных требований. За семь лет существования ПНТБиП молодые сотрудники доказали свою целеустремленность, оправдали возложенные на них надежды.

Для улучшения качества работ и повышения производительности главной задачей для АО «Волковгеология» является модернизация бурового оборудования и оптимизация процессов сооружения скважин. Все это необходимо выполнять, чтобы в условиях кризиса сохранять конкурентоспособность на рынке.

В рамках оптимизации АО «Волковгеология» разработала и внедрила в производство ряд разработок позволяющих сократить непроизводительные затраты производства, одним из разработанных процессов за 2018 год является разработка методики сооружения технологических скважин с временной изоляцией отстойника.

## **МЕТОДИКА СООРУЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН С ВРЕМЕННОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ ОТСТОЙНИКА**

При сооружении технологических скважин после проведения этапа освоения скважины зачастую появляется проблема со сдачей скважины заказчику из-за «закрытости» (не допустимый процент открытости) отстойника, что приводит к дополнительным непроизводительным затратам времени и материалов.

Для устранения проблем, связанных с закрытостью отстойника, применяется отработанный традиционный метод очистки, такой как повторная промывка отстойника от песка с использованием агрегата УОС-700М (установка освоения скважин), после чего необходимо провести переосвоение скважины в течении 24 часов с использованием передвижного компрессора и повторно провести токовый каротаж для определения целостности обсадной колонны. Данная проблема

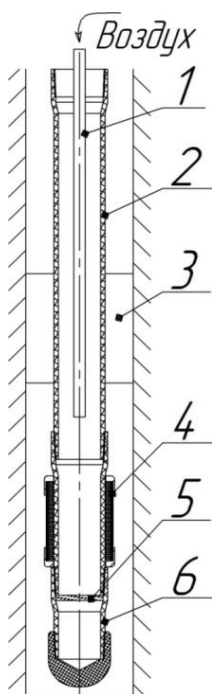


Рисунок 1. Конструкция технологической скважины с временной изоляцией отстойника

влечет за собой ряд технических затратных мероприятий, иногда приобретающих циклический характер. Последствие, которых приводит к длительному задействованию технических и рабочих ресурсов на данных (проблемных) скважинах.

Установлено, что при проведении освоения скважин, жидкость направляется с рудного горизонта через фильтр вверх вдоль обсадной колонны к устью скважины, некоторая часть мех. взвесей находящаяся в жидкости проходя через фильтр оседает по средству силы тяжести в отстойник скважины заполняя его. После проведения освоения данным методом при традиционной конструкции скважины за частую открытость отстойника составляет от 40 до 60%, эти показатели не соответствуют техническим требованиям заказчика.

Для того чтобы провести полную очистку отстойника необходимо произвести промывку отстойника с помощью агрегата УОС-700М. При промывке отстойника скважины мех. взвеси с потоком жидкости проникают через фильтр обратно в прифильтровую зону, поэтому заказчик после проведения повторной промывки скважины требует переосвоения скважины с дополнительным токовым каротажем. Такой цикл может повторяться несколько раз.

Целью применения разработанной методики является сокращение непроизводительных затрат времени и материалов:

- исключение этапа проведения очистки отстойника (повторная промывка) с помощью УОС-700М при выявлении их закрытости после сдачи скважины по дебиту;
- исключение повторного освоения скважины;
- исключение повторного ГИС на проведение токового каротажа после освоения.

В фильтр, состоящий из собственно фильтровой части 4 и отстойника 6, в трубную часть отстойника устанавливается стеклянная перегородка 5 на металлической основе, фиксируемая свинчиванием внутренней резьбы отстойника и наружной резьбы фильтра. Затем производится спуск обсадной колонны. После обсадки, в скважине выполняется освоение скважины методом эрлифта с подачей сжатого воздуха для достижения требуемого дебита скважины. Затем стеклянная перегородка разрушается с помощью нагнетательного рукава агрегата

УОС-700М, и скважина промывается в том месте, где ранее была установлена временная изоляция отстойника (стеклянная перегородка). После разрушения перегородки, в скважине проводят комплекс необходимых геофизических исследований на определение соответствия скважины техническим характеристикам.

Данный метод обуславливается увеличением динамических и гидравлических нагрузок на призабойную часть обсадной колонны, которой при перекрытии отстойника стеклом является фильтр.



*Рисунок 2. Раструбная часть отстойника с установленной основой и стеклянная вставка для изоляции*

Эффективность этого метода достигается:

- Уменьшением времени на промывку и освоение фильтровой части.
- Качеством освоения скважин.

По результатам проведенных опытно полевых работ можно отметить об эффективности и работоспособности методики сооружения технологических скважин с временной изоляцией отстойника.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЕЙ СТЕРЖНЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ КРИТИЧЕСКОГО СТЕНДА МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

*Умархалинова А.Ж., Шаймерденов А.А.*  
РГП «Институт ядерной физики», Алматы, Казахстан

### ВВЕДЕНИЕ

При эксплуатации любой ядерной установки, необходимо обеспечить ее безопасную и эффективную работу. В настоящее время для обоснования безопасной эксплуатации ядерных установок применяются прецизионные программные комплексы. Также эти программные комплексы применяются для прогнозирования изменения характеристик реакторов при проведении на них экспериментальных и облучательных работ. Некоторые характеристики реактора технически сложно измерить или трудо- и финансово затратно. В таких случаях расчетным путем получают необходимые данные.

В настоящей работе с помощью программного комплекса MCNP рассчитаны эффективности стержней системы управления и защиты (СУЗ) критического стенда и полученные данные сравниваются с экспериментальными. Стержни СУЗ являются важными элементами любого ядерного реактора, которые напрямую влияют на его ядерную безопасность и знание их эффективности необходимо для безопасной эксплуатации установки.

### ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Расчетное моделирование активной зоны критического стенда было проведено с применением программного комплекса MCNP, в котором уравнение переноса нейтронов и других частиц решается методом Монте-Карло [1]. Методы Монте-Карло – группа численных методов для изучения случайных процессов. Суть метода заключается в следующем: процесс моделируется при помощи генератора случайных многомерных точек, различающихся по энергии, координатам и углам. Это повторяется много раз, и на основе полученных случайных величин вычисляются вероятностные характеристики решаемой задачи.

Критический стенд (КС) представляет собой реактор малой мощности на тепловых нейтронах с разрешенной мощностью 100 Вт с легководным замедлителем и комбинированным отражателем (вода, бериллий) [2]. КС предназначен для исследований нейтронно-физических характеристик активных зон водо-водяных реакторов и некоторых элементов активных зон реакторов других типов, а также формирования условий испытаний различных петлевых каналов. Максимальная плотность потока тепловых нейтронов, достигаемая в облучательных каналах, составляет  $\sim 10^9 \text{ см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ . Активная зона критического стенда представлена на рисунке 1.

КС имеет десять каналов рабочих органов (РО) системы управления и защиты (СУЗ), снабженных малогабаритными приводами, устанавливаемыми непосред-

ственно на канале, что позволяет производить их оперативную перестановку в любую ячейку активной зоны. РО СУЗ критического стенда – это шесть РО компенсации избыточной реактивности (КО), один РО автоматического регулирования мощности (АР) и три РО аварийной защиты (АЗ). Поглощающим материалом КО и АР является карбид бора с естественным содержанием бора-10, АР – нержавеющая сталь. При высоте активной зоны 600 мм длина поглощающей части стержней составляет 700 мм.



Рисунок 1. Активная зона критического стенда

В качестве аппаратуры СУЗ используются системы “Карпаты” и КУСБ-04, которые позволяют контролировать мощность и период критсборки по четырем независимым каналам [3,4,5].

Картограмма активной зоны критического стенда для которой проводились расчеты приведена на рисунке 2.

Одним из основных параметров стержней СУЗ является их эффективность (физический вес), которая характеризует изменение реактивности при вводе или извлечения поглощающего стержня в/из активной зоны.

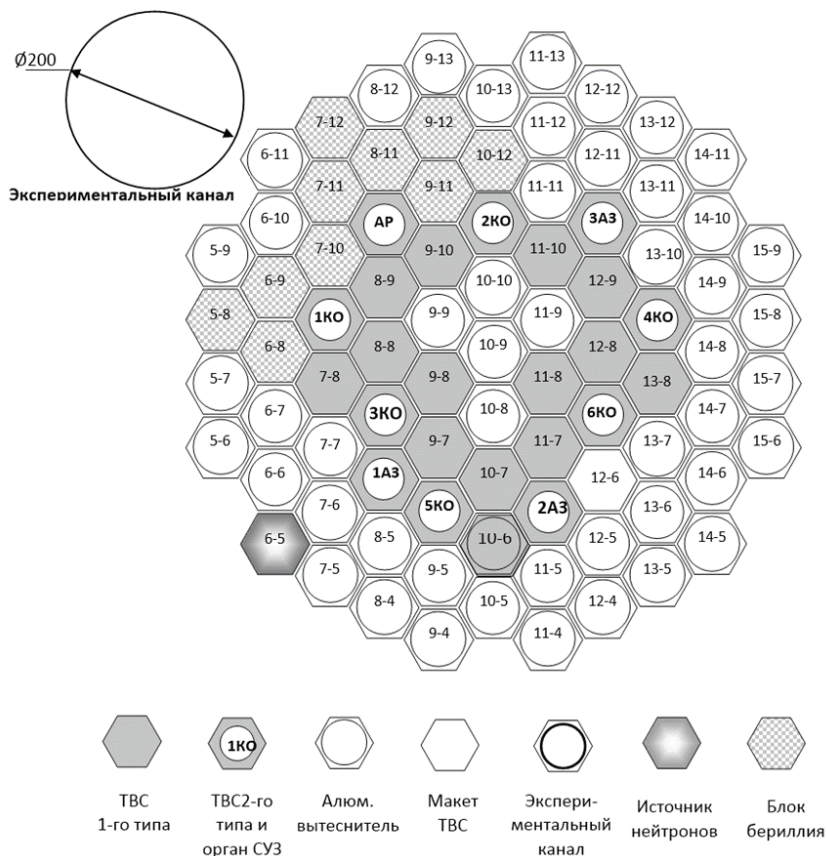


Рисунок 2. Конфигурация активной зоны критического стенда

Для определения эффективности РО СУЗ на критическом стенде применялся метод компенсации. Метод основан на компенсации стержнем КО реактивности вносимой предварительно выбранным участком стержня АР в режиме авторегулирования. Эффективность выбранного участка АР при его извлечении предварительно определяется по периоду удвоения мощности критсборки.

В расчетах пользователь сначала подбирает глубину равного погружения РО КО при котором эффективный коэффициент размножения нейтронов равняется 1 ( $K_{эфф}=1$ ). Затем при поочередном погружении и извлечении каждого стержня, определяется их эффективность. Эффективности стержней определяются по разности значений реактивности при извлеченном и погруженном состоянии. Расчетная модель активной зоны критсборки приведена на рисунке 3.

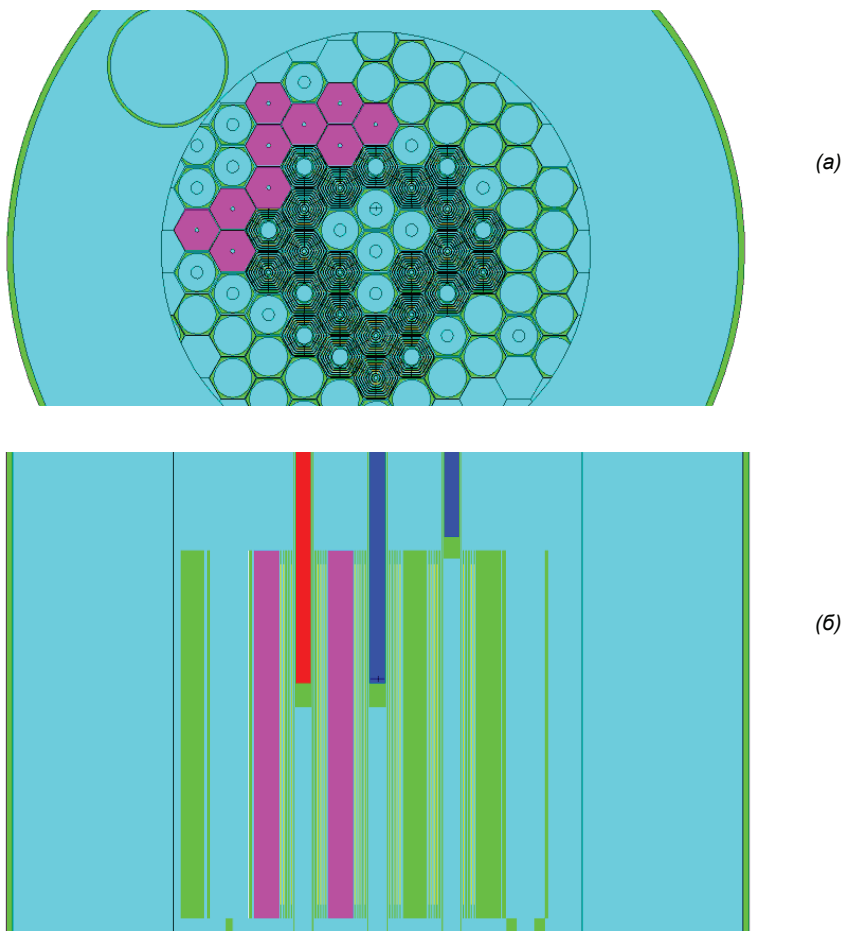


Рис.3. Компьютерная модель активной зоны критстенда.  
(а) горизонтальный разрез, (б) вертикальный разрез

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Полученные результаты приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Эффективности стержней РО СУЗ критического стенда (%  $\Delta K/K$ )**

РО СУЗ	1 КО	2 КО	3 КО	4 КО	5 КО	6 КО	АР	1 АЗ	2 АЗ	3 АЗ
Эксперимент (Э)	2,16	1,65	2,42	0,80	1,15	1,90	0,55	1,30	1,12	0,71
Расчет (Р)	2,23	1,50	2,45	0,83	1,32	1,76	0,68	1,44	1,20	0,78
Р/Э	1,03	0,91	1,01	1,04	1,15	0,93	1,24	1,11	1,07	1,10

Из таблицы видно, что результаты расчетов хорошо согласуются с экспериментальными результатами. Это говорит о том, что созданная расчетная модель хорошо описывает элементы и состав активной зоны критического стенда. Созданная расчетная модель позволит проводить прогнозирование изменения нейтронно-физических характеристик критсборки при проведении на ней экспериментальных работ.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. «MCNP - A General Monte Carlo N-Particle Transport Code», version 5, volume II: user's guide, appendix B, April 2003.
2. А.А. Шаймерденов, Ф.М. Аринкин, Ш.Х. Гизатулин, Д.С. Дюсамбаев, С.Н. Колточник, П.В. Чакров, Л.В. Чекушина, И.В. Шаманин Пуск и нейтронно-физические характеристики критического стенда РГП «Институт ядерной физики» РК с низкообогащенной активной зоной // Альтернативная энергетика и экология, №23 (187), стр. 51-59, - Саров, Россия – 2015.
3. Руководство по эксплуатации РУНК.506361.008 РЭ, 127 стр, 2012.
4. Канал контроля физической мощности импульсный ККНИ-01Р. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ЖШ.289.037 ТО, 140 стр, 1988.
5. Канал контроля физической мощности токовой ККНТ-013Р. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ЖШ.289.038 ТО, 131 стр, 1988.



## ОПЫТ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Л.Н. Филиппова, В.Н. Сляднева,  
М.А. Севериненко*

РГП «Институт ядерной физики», Алматы, Казахстан

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во многих отраслях народного хозяйства и науки широко используются радиоактивные вещества и источники ионизирующих излучений. Объекты, на которых, хранят, перерабатывают, используют, транспортируют или захоранивают источники ионизирующих излучений, радиоактивные вещества или материалы относят к радиационно-опасным объектам (РОО). Эксплуатация таких объектов показала, что, несмотря на все принимаемые меры, на них нельзя исключить возможность аварий, при которых может произойти облучение ионизирующим излучением или радиоактивное загрязнение людей, животных, растений, а также окружающей среды.

На территории Республики Казахстан расположено значительное количество радиационно-опасных объектов, таких как: места проведения ядерных испытаний, исследовательские и энергетические ядерные установки, предприятия и объекты уранодобывающей и перерабатывающей отрасли, нефтепромыслы и другие. Также порождает тревогу состояние трансграничных рек, воды которых могут поступать на территорию республики уже загрязненными, что влияет на экологическую ситуацию в приграничных регионах. Вследствие этого всегда востребованы данные о радиационной обстановке в стране, поскольку существует повышенный уровень радиофобии населения и общее негативное отношение ко всем видам деятельности, связанной с использованием атомной энергии.

В процессе своей деятельности Институт ядерной физики накопил большие объемы данных в области радиационной безопасности, хранящие в себе большие потенциальные возможности по извлечению полезной аналитической информации. Особенностью работы с данной информацией является не только ее постоянная динамическая изменчивость, но и необходимость удобно манипулировать ею в цифровой форме. Поэтому данные требовалось организовать в виде хранилищ информации с возможностью быстрого поиска и оперативного анализа для принятия управленческих решений, с развитыми инструментами доступа к данным хранилища и их обработки.

В Центре комплексных экологических исследований (ЦКЭИ) ИЯФ разработаны и функционируют несколько баз данных, отличающихся своей тематикой, предназначением и способом подачи информации. Постоянное увеличение объема и структурной сложности хранимых данных, расширение круга пользователей информационных систем привели к разработке наиболее удобных и сравнительно простых для понимания реляционных баз данных.

## ПАСПОРТ МОНИТОРИНГА ЛИРА

Паспорт мониторинга ЛИРА разрабатывался для отслеживания результатов мониторинга на объектах ЛИРА, которые представляют собой шесть подземных резервуаров на глубине 1 000 м, созданных ядерными взрывами на территории Карачаганакского нефтегазоконденсатного месторождения. Эти резервуары, а также прилегающие к ним территории являются объектами долгосрочного комплексного мониторинга, который с 1998 года осуществляет Институт ядерной физики и его Аксайский филиал.

В 2001 году на основании большого объема данных, полученных в результате исследований объекта ЛИРА, была разработана и создана научно-обоснованная комплексная система мониторинга прилегающих территорий объектов ЛИРА. Данная система дает возможность получения структурированной информации, проведения оперативных мероприятий и прогнозирования экологического состояния объектов.

Так как все данные мониторинга объектов ЛИРА хранятся в файлах формата Excel, было принято решение о расширении функционала работы с данными и, как следствие, создании базы данных «Паспорт мониторинга объектов ЛИРА» в программном продукте Microsoft Excel, где реализована технология связи диаграммы и ячейки, а также имеются возможности выполнять поиск данных и проводить расчеты статистических характеристик для выбранных данных мониторинга.

Таблицы с группированными данными были размещены на именованных вкладках Excel и преобразованы в «умные» таблицы, которые не требуют специального форматирования при добавлении новых данных. В каждом столбце с данными содержатся мини-диаграммы, которые позволяют осуществлять визуальный контроль введенных данных.

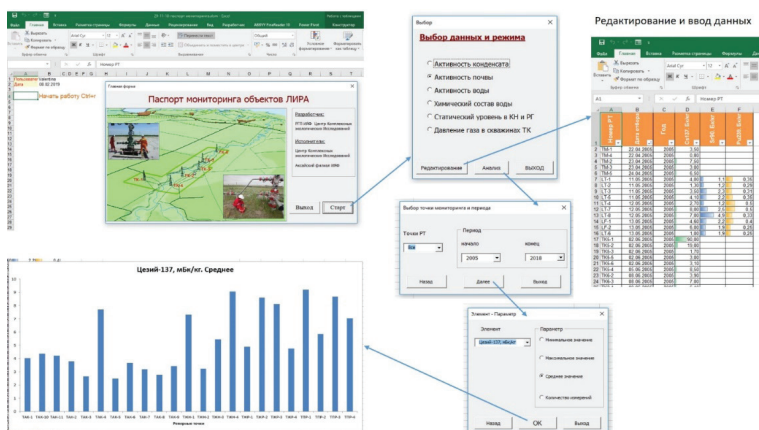


Рисунок 1. Схема работы Паспорта мониторинга объектов ЛИРА

Для поддержания пользовательского интерфейса используются, созданные с помощью языка программирования VBA, необходимые формы и кнопки управления (рисунок 1). Наличие таких форм обеспечивает внесение информации в таблицы, ее статистическую обработку, минимизирует количество ошибок при вводе новых данных, а также обеспечивает удобство работы с Паспортом мониторинга неподготовленному пользователю, от которого требуются лишь познания в его предметной области.

На сегодняшний день Паспорт мониторинга – это настроенная под конкретный проект база данных, которая при комплексном подходе к ней, дает возможность работать над сложными, многофункциональными задачами.

### **ЭЛЕКТРОННЫЙ АРХИВ ЛИРА**

Количество текстовых и графических материалов, созданных при работах по проекту ЛИРА, а также архивных документов, созданных сторонними организациями, с каждым годом стремительно нарастало. Информация была разобщена, размещена у каждого исполнителя на персональном компьютере, поиск нужного документа сопровождался большими трудозатратами и не всегда приводил к желаемому результату. Для объединения, систематизации и обеспечения сохранности накопленной информации в единой базе данных в 2007 году был создан «Электронный архив ЛИРА». Архив реализован способом интуитивно-понятным любому пользователю-непрофессионалу. В качестве средства реализации интерфейса было выбрано программное средство управления базами данных Access, доступное на любом персональном компьютере, использующим офисный пакет приложений Microsoft Office.

Концептуальная модель базы данных «Электронный архив»:

1. БД предназначена для ввода, хранения и обработки информации по проекту «ЛИРА».
2. БД включает несколько тематических разделов: «Обзор», «История», «Направления», «Документы», «Нормативы», «Дело скважин» и другие (рисунок 2).
3. Вся архивная система состоит из четырех основных частей, а именно: сбор данных, ведение каталога, хранение электронных материалов, поисковая система.

В процессе работы электронный архив обеспечивает сохранность информации, защиту от несанкционированного доступа, возможность удаленного доступа к данным по локальной сети одновременно нескольким сотрудникам, а также предоставляет удобные средства для поиска требующихся данных.

В настоящий момент архив проекта ЛИРА содержит всю доступную научную и техническую информацию, касающуюся объектов ЛИРА, начиная с 80-х годов прошлого века. Общий объем информации составляет около двух тысяч документов. Электронный архив постоянно пополняется новыми материалами и функциональными возможностями программной оболочки.

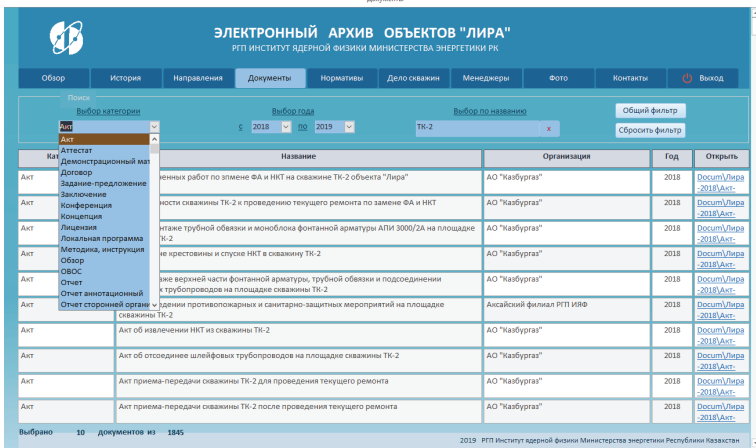


Рисунок 2. Форма «Документы» с интерфейсом для поиска по различным критериям

## ИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА ДАННЫХ ПО БЫВШЕМУ ЯДЕРНОМУ ПОЛИГОНУ АЗГИР

С 1996 года на бывшем ядерном полигоне Азгир ведется мониторинг почвы, воды, растительности, донных отложений и радиационного состояния окружающей среды. С целью хранения, систематизации и объединения в одном формате результатов радиоэкологических исследований разных лет была разработана информационная база данных по полигону Азгир. В качестве системы управления базой данных также было выбрано ПО MS Access. База данных включает в себя результаты лабораторных исследований отобранных проб на полигоне, картографическую информацию точек отбора проб, фотодокументы и отчеты (рисунок 3). Ее использование позволяет более комплексно оценивать влияние полигона Аз-

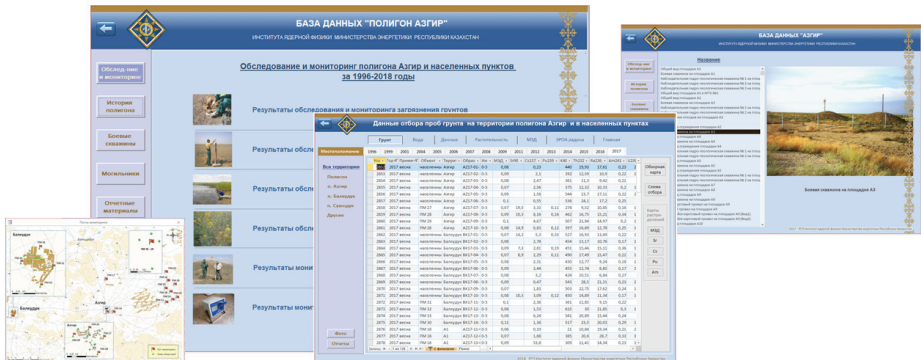


Рисунок 3. Данные по полигону Азгир, представленные в цифровой, графической и картографической формах

гир на окружающую среду и в дальнейшем использовать полученную информацию для разработки природоохранных мер за состоянием окружающей среды. На регулярной основе проводится актуализация и модернизация базы данных.

## ГИС ПРОЕКТЫ

Данные, характеризующие радиационную обстановку, имеют, как правило, географическую привязку, что позволяет их визуализировать на картографической основе. Для этих целей на основе программных продуктов линейки ArcGIS были созданы ГИС проекты «ЛИРА», «Азгир», «ИЯФ», «BN-350», «Трансграничные реки» и многие другие (рисунок 4). Созданные ГИС-проекты широко применяются для решения задач планирования и проведения радиоэкологических исследований и анализа полученных результатов, в том числе в других базах данных, созданных в ЦКЭИ ИЯФ.

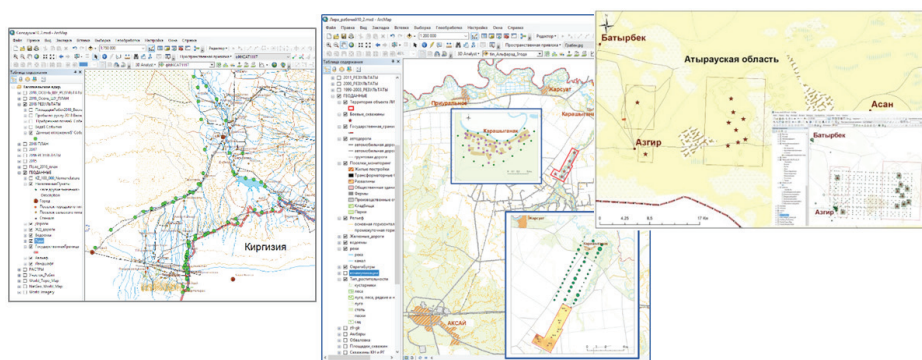


Рисунок 4. ГИС проекты «Приграничные реки», «ЛИРА» и «Азгир»

Географическая информация хранится в структурированном виде, что обеспечивает простое управление, обновление, повторное использование и обмен слоями данных, таких как территории обследования, административные границы, скважины, исследуемые площадки, полигоны, поселки, точки отбора проб и многие другие. Все данные имеют связанные семантическую и графическую составляющие, что позволяет использовать богатый набор инструментов для создания визуализаций пространственных свойств, например, плотности, распределения, деления на кластеры, близости и связности и, соответственно, облегчает проведение пространственного анализа. Банк данных пространственной информации постоянно расширяется.

## БАЗА ДАННЫХ ЦКЭИ

Учитывая постоянно нарастающий объем бумажной и электронной информации, необходимость быстрого поиска и аналитической работы, единственным способом обеспечения реального доступа к результатам исследования каждой пробы явилось создание электронной базы данных. База данных ЦКЭИ, разработанная на основе Access, предназначена для учета всех поступающих заказов на исследование проб почвы, воды, растительности, воздуха донных отложений и других объектов.

Для хранения и ввода новых заказов создано девять таблиц и форм по каждому проекту. Каждая запись таблицы содержит всю необходимую информацию об отдельном заказе, включая отсканированные реестры поступающих проб и результаты лабораторных испытаний. Типы данных, используемые в таблицах: текстовый, числовой, «дата»; форматы вложенных файлов: .jpg и .xlsx. Условно все таблицы можно разделить на две группы: таблицы-информационные и таблицы-отслеживания передвижения проб между группами лабораторий.

Благоприятный интерфейс для пользователя создается с помощью форм. На формах размещены специальные элементы управления, которые посредством запросов организуют выборку данных по определенным критериям, а также отображают количество всех поступающих заказов и проб. В целях безопасности и целостности данных в формах закрыты некоторые поля, что предотвращает несанкционированный ввод и удаление информации. На форме «Заказы...» отображается вся информация по всем заказам выбранного проекта, также находятся кнопки поиска, выборки и создания отчета (рисунок 5).

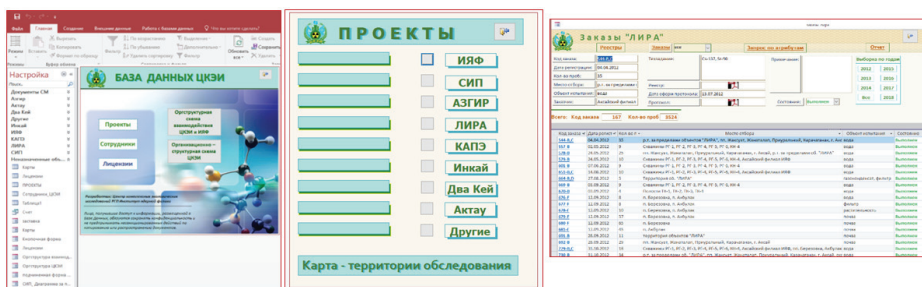


Рисунок 5. Интерфейс базы данных ЦКЭИ

Отчеты организуют вывод информации на печатающее устройство по специальным правилам группирования и оформления данных (верхний и нижний колонтитулы, номера страниц и т.п.)

Заказы сортируются согласно существующим проектам. Кроме того, база данных ЦКЭИ выполняет функцию мониторинга этапов проведения испытаний и контроля выполнения работ. Также имеется структурированная информация по сотрудникам и лицензиям ЦКЭИ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все созданные базы данных могут быть использованы для формирования единого цифрового информационного пространства в области радиозащиты, позволяющего получать оперативную информацию о радиозащитной обстановке на территории Казахстана органам государственного управления, населению, зарубежным инвесторам и туристам.

## **МЕТОДОЛОГИЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ И ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ**

***<sup>1</sup>Жумагазеева Д.Ж., <sup>1</sup>Ерден А., <sup>1</sup>Минжанова Г.М., <sup>2</sup>Макарова В.А.***

<sup>1</sup>КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>РГП «Институт ядерной физики», Алматы, Казахстан

Целью разработки является обеспечение единой методологии организации и проведения радиоэкологического обследования (РО) населенных пунктов (НП), и реализации требований основополагающих документов в области радиационной безопасности.

Целью методологии радиоэкологического обследования является унификация методов радиационного контроля, а также обеспечение гигиенических нормативов по ограничению облучения населения, за счет природных источников ионизирующего излучения.

Методология радиоэкологического обследования территории и жилых и общественных зданий может использоваться при отводе земельных участков под строительство и приемке в эксплуатацию жилых и общественных зданий.

Основные задачи радиоэкологического обследования:

- регистрация текущего уровня радиоактивного загрязнения;
- оценка доз облучения населения;
- обеспечение органов государственного управления и населения объективной информацией о текущем радиоэкологическом состоянии НП и уровнях их загрязнения радиоактивными веществами.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ**

Организация радиоэкологического обследования заключается в разработке программы, при составлении которой необходимо учесть следующие задачи: определить перечень объектов для РО; составить перечень контролируемых радионуклидов; разработать сеть РО.

Решение этих задач осуществляется на основе анализа предварительной информации: о физико-географических характеристиках места расположения НП, о хозяйственной деятельности и результатах предыдущих обследований.

Выбор объектов для РО следует проводить на основании анализа предварительной информации с учетом всех потенциально реализуемых путей облучения населения.

Программой РО определяется объем выборки обследования, количество и места расположения точек обследования.

Точки измерений гамма-фона в НП должны по возможности равномерно распределяться по территории НП (или отдельного участка НП). Количество точек измерений зависит от размера сети обследования.

Гамма-съемка НП должна проводиться вдоль обочин улиц, общественных мест, территории, прилегающей к НП и в выборочном обследовании подво­рий. Точки измерений должны по возможности равномерно распределяться по территории НП. Для проведения гамма-съемки следует разбивать профили вдоль обочин улиц и по периметру НП. Если ширина улиц более 30 м., то гамма-съемку необходимо проводить с обеих сторон. В обязательном порядке должны быть проведены измерения МЭД у входов в общественные и административные здания, школы, больницы, детские учреждения, на территории рынка. Выборочное обследование подво­рий следует обследовать по диагонали с проведением измерений не менее чем в трех точках, в центре, у забора, под водосточной трубой.

Достоверность оценки уровней облучения населения в значительной мере зависит от степени представительности (репрезентативности) выборки обследуемых зданий. Поскольку содержание радона и МЭД в воздухе помещений зависит как от геолого-геофизических характеристик мест застройки, так и от строительных и конструктивных характеристик зданий, представительность выборки, прежде всего, должна быть обеспечена именно по этим характеристикам.

Объем выборки обследуемых жилых единиц следует определять из расчета не менее 1% от их общего числа в НП. В населенных пунктах с малым числом жителей плотность выборки следует увеличивать в кратное число раз, например 2%, 5%, 10% и даже 100%, исходя из условия, чтобы в каждом населенном пункте по возможности было обследовано не менее 20 жилых единиц. Точки измерений должны по возможности равномерно распределяться по территории НП.

В одноэтажных зданиях должно проводиться одно измерение объемной активности радона. В подвальных помещениях требуется такое же обследование, как и в помещениях на 1-м этаже. В многоквартирных жилых домах измерения МЭД и объемной активности радона следует проводить на 1-м этаже в помещениях, расположенных по 4-м углам здания, а при двух и более подъездах – в одной из квартир 1-го этажа каждого подъезда.

Отбор проб объектов окружающей среды проводится для более детального изучения радиационно-гигиенического состояния НП.

Независимо от вида объектов и свойств обследуемой среды, основным требованием к отбираемым пробам является их представительность, т.е. их адекватность составу данной среды в данный период времени. Известно, что с представительностью проб связана погрешность (неопределенность) распространения результатов измерений в точках пробоотбора на объект обследования в целом. Соблюдение требования представительности пробы в общем случае обеспечивается: правильным выбором мест и времени отбора проб; количеством точек пробоотбора; корректным применением способов и методов пробоотбора.



Точки отбора проб приземного слоя атмосферы должны по возможности равномерно распределяться по обследуемой территории. РО приземного слоя атмосферы должно выполняться с учетом «розы ветров» аспирационным методом по объемной активности радионуклидов и седиментационным методом по поверхностной активности радионуклидов в атмосферных выпадениях.

Отбор проб поверхностного слоя почвы при площадном обследовании необходимо производить в точках измерения МЭД гамма-излучения в каждом узле ячеек сети РО. Количество отобранных проб почвы в НП должно определяться размерами НП и должно составлять не менее 30. Пробы почвы следует отбирать как внутри НП (на обочинах улиц, в подворьях), так и по периметру. Точки отбора проб почвы должны быть равномерно распределены в пределах НП.

Отбор проб растительности должен производиться сопряженно с отбором проб почвы. Отбирать пробы следует на ровных луговых участках (но на незатопляемых лугах) в некоторой отдаленности (на расстоянии не менее 10 м) от ближайших строений и не менее 100 м от автомобильных и железных дорог. Точки отбора проб растительности должны быть равномерно распределены по всей обследуемой площади.

Отбор проб воды необходимо производить из всех видов водоисточников, используемых в хозяйственно-бытовом назначении. Пробы воды из поверхностных водотоков (реки, ручьи, каналы) и водоемов (пруды, озера) следует отбирать у берегов на глубине до 0,3-0,5 м. Пробы необходимо отбирать в ясную погоду у обоих берегов водотоков, и не менее чем из трех створов водоемов, разнесенных более чем на 200 м. Один из створов совмещают с местом впадения в водоем поверхностного водоисточника.

В ряде случаев, особенно при отсутствии нормативов качества, фоновые значения определяемых параметров могут явиться единственным критерием сравнения результатов радиоэкологических измерений. При выборе фоновых территорий с точки зрения их подобия обследуемым, предпочтение следует отдавать территориям со схожими физико-географическими условиями окружающей среды. Территория сравнения должна выбираться на расстоянии не более 1 км от окраины НП.

## **ПРОВЕДЕНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ**

Радиоэкологическое обследование различных объектов окружающей среды должно проводиться в соответствии с утвержденной программой, разработанной на этапе организации работ.

Площадные радиационные измерения гамма-фона проводят с использованием носимых дозиметров-радиометров. Измерения МЭД внешнего гамма-излучения проводятся на высоте 1 метр над поверхностью земли, при измерениях на открытой местности, и на высоте 1 м от пола, при измерениях МЭД в жилых зданиях.

Подготовку и выполнение измерений объемной активности радона необходимо проводить согласно технической документации по эксплуатации прибора. Измерения объемной активности радона в помещении следует производить в местах с минимальной скоростью воздухообмена. При измерениях приборы следует располагать: не ниже 50 см от пола, не ближе 25 см от стен и 50 см от нагревательных элементов, кондиционеров, окон и дверей.

Отбор проб приземного слоя атмосферы производится на высоте 1,5-2 м от поверхности земли. Отбор проб аэрозолей аспирационным методом следует проводить на специальных фильтровальных установках с использованием фильтров, входящих в комплект установок. Фильтры необходимо помещать в фильтродержатель марлевой основой вниз. Продолжительность отбора – 12-24 ч. После прокачки воздуха фильтрующую установку необходимо отключить, осторожно (не встряхивая), снять фильтродержатель с фильтром, поместить его в футляр. Отбор проб седиментационным методом производится с помощью специальных кювет-сборников. Поверхности кюветы (ее дно и борта) необходимо смазывать тонким слоем липкой массы (глицерин, вазелиновое масло и т.п.). Дно кюветы можно также выстлать фильтровальной бумагой, смазанной липкой массой. Продолжительность экспозиции – 24 ч. Для стандартизации условий обследования смену кювет и фильтров проводят в одно и то же время.

Масса проб почвы для определения в них радионуклидного состава должна составлять 0,3-0,5 кг, для растительности в сухом виде – 1 кг. Растительность необходимо отбирать с поверхности почвы. Пробы должны высушивать в помещении или на воздухе в тени. Высушенные пробы необходимо измельчать (до 5 см) и упаковывать.

Пробы воды отбираются в специальные емкости. Перед заполнением емкости водой ее необходимо трижды ополаскивать отбираемой водой. Объем отбираемых проб воды должен составлять не менее 1.5 л. При необходимости объем проб может быть увеличен до 20 л.

В каждой точке обследования должны определяться топографические координаты с помощью спутникового топопривязчика, проводиться описания точек, присваиваться соответствующие коды проб (измерений) и заноситься в полевой журнал.

В отобранных пробах объектов окружающей среды определяют активность заданных радионуклидов с помощью лабораторных методов анализа. Подготовку образцов для проведения измерений выполняют в соответствии с аттестованными методиками для каждого из методов анализа. Результаты измерений определяются с погрешностью, величина которой регламентируется применяемой методикой. Контроль правильности и точности анализа осуществляют с помощью стандартных процедур аналитического контроля.

Интерпретация результатов РО должна включать в себя оценку текущего состояния качества окружающей среды и оценку вклада природных источников ионизирующего излучения в общую дозу облучения населения.

Для оценки текущего состояния окружающей среды следует проводить анализ, сравнивая результаты, получаемые при обследовании, со следующими показателями: величинами установленных нормативов качества объектов окружающей среды и принятыми контрольными уровнями; фоновыми значениями определяемых параметров; результатами предыдущих РО (при их наличии).

При проведении оценки текущего состояния окружающей среды следует руководствоваться следующим:

По численным значениям измеренных величин гамма-съемки территорий на карте следует строить изолинии МЭД. С привлечением данных о параметрах нормальных радиационных полей, полученных по результатам радиометрической съемки участка сравнения, должно проводиться оконтуривание радиационных аномалий в величинах МЭД. Оконтуривание радиационных аномалий следует выполнять с использованием статистических критериев превышения результатов измерений над средними значениями нормального фона.

По результатам нескольких измерений МЭД, проводимых в зданиях НП, рассчитывается среднее арифметическое значение МЭД в каждом помещении. Полученные значения должны сравниваться с величиной МЭД нормального радиационного поля, полученного в ходе радиометрической съемки территории данного населенного пункта. В соответствии с действующими на территории Казахстана нормативами, допустимое превышение МЭД в помещениях над значением МЭД на открытой местности составляет 0,2 мкЗв/ч. Результаты измерений ОА радона используются для оценки среднегодового значения ЭРОА изотопов радона в помещениях.

Содержание радионуклидов в воздушной среде территории, согласно действующим в Казахстане нормам (ГН СЭТОРБ), не должно превышать уровень допустимой объемной активности при поступлении с воздухом для населения.

Поскольку значения удельной активности радионуклидов в почве не лимитированы нормативными документами Республики Казахстан, проводить сравнение значений средней удельной активности радионуклидов в пробах почвы обследуемого НП и участка сравнения следует с использованием критериев математической статистики.

Удельная активность радионуклидов в пробах питьевой воды не должна превышать уровни вмешательства для питьевой воды, согласно ГН СЭТОРБ. При совместном присутствии в воде нескольких радионуклидов, сумма отношений их удельных активностей к соответствующим уровням вмешательства не должна превышать 1. В пробах поверхностных водоисточников удельная активность радионуклидов не должна превышать 10-кратные значения уровней вмешательства.

Предварительная оценка допустимости использования воды для питьевых целей может быть дана по удельной суммарной альфа- и бета-активности, которая не должна превышать 0,1 и 1,0 Бк/кг, соответственно.

Оценку коэффициентов накопления радионуклидов в растительности следует проводить по значениям средней удельной активности определяемого радионуклида в пробах сырой массы конкретного вида растительности и в сопряженных пробах почвы. Предел годового поступления радионуклидов с пищей лимитирован в ГН СЭТОРБ.

Расчет доз облучения населения, проживающего в ЗВ, следует проводить для всех видов и путей облучения. Полученные при расчетах значения должны сравниваться с величиной дозовых пределов для населения, установленных ГН СЭТОРБ.

По результатам проведенного обследования должен быть составлен акт, заключение или отчет о радиоэкологическом обследовании НП, и представлены материалы, характеризующие особенности фонового радиационного состояния обследуемой территории. Анализ результатов РО должен передаваться в административные органы, а также в специально уполномоченные органы государственной исполнительной власти.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ**

Использование рассмотренных методических подходов в практике РО может обеспечить унифицированный подход в радиационно-гигиенической оценке территории НП, жилых и общественных зданий для дальнейшей оценки вклада природных источников ионизирующего излучения в дозовую нагрузку.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ГНСЭТОРБ-2015 Гигиенические нормативы. Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности. Утверждены приказом Министра национальной экономики Республики Казахстан № 155 от 27.02.2015 г.
2. СПСЭТОРБ-2015 Санитарные правила. Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности. Утвержденным приказом Министра национальной экономики Республики Казахстан № 261 от 27.02.2015 г.
3. МР 11-2/206-09 «Выборочное обследование жилых зданий для оценки доз облучения населения». Москва. МинЗдравРФ, 2000.
4. Приказ Председателя Комитета государственного санитарно-эпидемиологического надзора от 8 сентября 2011 года № 194 «Об утверждении «Методических рекомендаций по радиационной гигиене»».

## ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ $\gamma$ -АКТИВНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ОБЪЕКТА «ЛИРА»

<sup>1</sup>Мильц О.С., <sup>1</sup>Моренко В.С., <sup>1</sup>Севериненко М.А.,  
<sup>1</sup>Макарова В.А., <sup>2</sup>Зарипова Ю.А.

<sup>1</sup>РГП «Институт ядерной физики», Алматы, Казахстан  
<sup>2</sup>КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Освоение в 1950-1970-е годы в СССР крупнейших месторождений полезных ископаемых, находившихся на обширных малонаселенных территориях, и уникальный опыт в технике проведения крупномасштабных взрывов создали широкие предпосылки для успешного применения подземных ядерных взрывов в промышленных целях.

По окончании поисково-разведочного комплекса работ на Карачаганакском нефтегазоконденсатном месторождении (КНГКМ), расположенном в Западно-Казахстанской области, проектом по его разработке было предусмотрено создание буферных подземных резервуаров, предназначенных для технологического регулирования процесса транспортировки газа и конденсата на Оренбургский газоперерабатывающий завод.

В 1983 и 1984 гг. на Карачаганакском газоконденсатном месторождении были созданы с помощью ядерных взрывов 6 подземных резервуаров.

Местоположение подземных резервуаров (ПР) определялось технологическими требованиями, геологическими условиями, инженерными коммуникациями, необходимостью приближения хранилища конденсата к промыслу. Объекты получили название «ЛИРА», схема их расположения и основные параметры ядерных взрывов представлены на рисунке 1 и в таблице 1 соответственно.

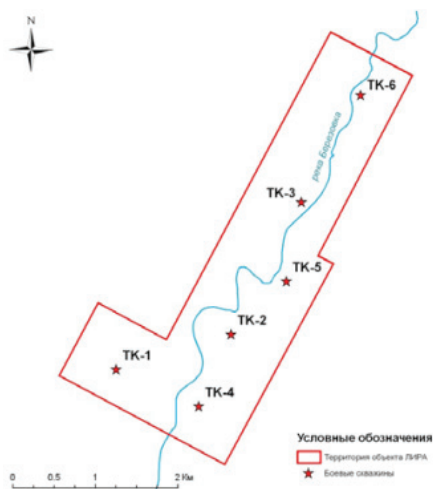


Рисунок 1. Схема расположения боевых скважин на объекте «ЛИРА»

Таблица 1. Характеристики ядерных взрывов на объекте «ЛИРА»

Подземная полость	Дата и время взрыва	Мощность взрыва, кт	Глубина, м	Объем, тыс. м <sup>3</sup>	Состояние и использование полостей
ТК-1	10.07.83 03.59.57	15	881	55	Использовалась для приема конденсата. Хранится 13,6 тыс.т конденсата
ТК-2	10.07.83 04.04.57	15	888	66	Использовалась для приема конденсата. Хранится 50 тыс.т конденсата
ТК-3	10.07.83 04.09.57	15	796	45	Использовалась для приема конденсата. Хранится 15,2 тыс.т конденсата
ТК-4	21.07.84 02.59.57	15	820	47	Использовалась для приема конденсата. Хранится 4,6 тыс.т конденсата
ТК-5	21.07.84 03.05.57	15	844	49	При вскрытии оказалась заполнена водой.
ТК-6	21.07.84 03.09.57	15	931	49	В настоящее время имеется завал в скважине

Подземные хранилища конденсата (ПХК) ТК-1 – ТК-4 эксплуатировались до 1995 года. Полость ТК-5 при вскрытии оказалась полностью заполнена водой, она изолирована от поверхности цементной пробкой. Для контроля герметичности обводненной полости была создана сеть из 11 контрольно-наблюдательных скважин, охватывающих весь водоносный комплекс, на различную глубину.

При вводе в эксплуатацию ПХК ТК-6 произошло технологическое осложнение. В результате проведенных аварийно-технологических работ осложнение не было устранено. Полость находится в естественных природных условиях. Состояние ее подземной части не известно, подземный резервуар ТК-6 не был введен в эксплуатацию.

Эти шесть подземных ядерных полостей, а также прилегающие к границам объектов территории являются объектами долгосрочного комплексного мониторинга.

Объект ЛИРА является радиационно-опасным объектом, и обращение с этим объектом регулируется законодательством об использовании атомной энергии и обеспечении радиационной безопасности.

Уникальность данного объекта состоит в том, что он был создан как одно из звеньев технологической цепочки разработки месторождения углеводородов и несет нагрузку производственной деятельности нефтегазового комплекса.

Для выявления возможного изменения радиоэкологической обстановки на подконтрольной территории в системе мониторинга были определены три основные зоны:

- зона наблюдения – территория технологических площадок скважин ТК-1 – ТК-6 и территория, входящая в состав объектов ЛИРА;
- зона сравнения – территория, расположенная на расстоянии 1,5-2 км от границ приустьевых площадок;
- зона фона – территория, расположенная за пределами объектов ЛИРА, на которой содержание техногенных радионуклидов соответствует уровню глобальных радиоактивных выпадений, сформированных задолго до начала систематических исследований, начатых в 1998 г.

Одним из основных параметров, характеризующих общую радиоэкологическую ситуацию на территории объектов ЛИРА, является удельная активность долгоживущих техногенных радионуклидов Cs-137, Sr-90 и Pu-239+240, определяемая в пробах грунта контролируемых территорий.

С целью получения информации о характере радиоэкологической обстановки на территории объектов ЛИРА и территории, прилегающей к границам объектов был проведен комплекс мероприятий, включающих:

- отбор проб грунта и растительности;
- дозиметрический и радиометрический контроль при выполнении полевых работ;
- первичная подготовка проб растительности;
- первичная подготовка проб грунта для измерения удельной активности Cs-137;
- радиохимическая подготовка проб для измерения содержания Sr-90 и Pu-239+240;
- проведение полевой  $2\pi$  гамма-спектрометрии;
- проведение лабораторных исследований содержания Cs-137 в пробах грунта;
- измерение содержания Pu-239+240 методом альфа-спектрометрии;
- измерение содержания Sr-90 методом жидкосцинтилляционной бета-спектрометрии.

Отбор проб грунта был осуществлен в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83 «Почвы. Общие требования к отбору проб».

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для выявления динамики изменения содержания Cs-137 в грунте приустьевых площадок технологических скважин ТК-1 - ТК-6 проведено сравнение результатов измерений, полученных в 2015 году, с данными предыдущих лет (период 2012-2014 гг.). На рисунке 2 представлены обобщенные данные об удельной активности Cs-137 в пробах грунта приустьевых площадок технологических скважин объектов ЛИРА, среднее значение удельной активности Cs-137 за 2015 год близко к средней величине за указанный период, что свидетельствует о стабильности радиационной обстановки.

Указанные значения значительно ниже нормируемого уровня 10 Бк/г (10 000 Бк/кг), установленного Гигиеническими нормативами «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности», утвержденными

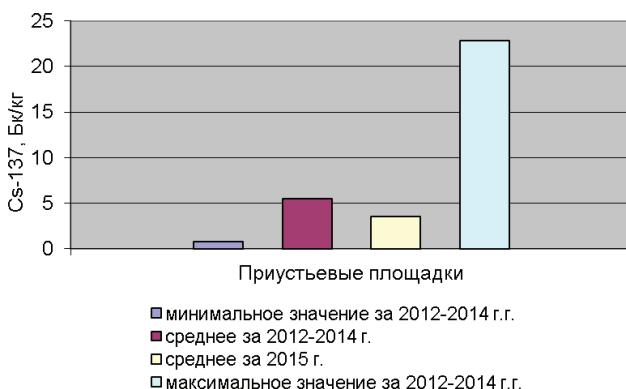


Рисунок 2. Усредненные результаты измерений удельной активности Cs-137 в пробах грунта на приустьевых площадках объектов ЛИРА за 2015 год и за контрольный период наблюдений 2012-2014 гг.

приказом Министра национальной экономики РК № 155 от 27.02.2015 года (далее ГН СЭТОРБ).

В целях выявления возможного влияния объектов ЛИРА на прилегающие территории проводится комплекс мер по мониторингу радиоэкологической обстановки на территории ближайших к объектам ЛИРА населенных пунктов. Ежегодные наблюдения за радиоэкологическим состоянием проводятся в поселках Приуральное, Жарсуат, Карачаганак, Жанаталап и в городе Аксае.



Рисунок 3. Усредненные результаты измерений удельной активности Cs-137 в пробах грунта населенных пунктов и за пределами объектов ЛИРА за 2015 год и за контрольный период наблюдений 2012-2014 гг.

На рисунке 3 отображены обобщенные данные об удельных активностях техногенных радионуклидов проб грунта из населенных пунктов и с территории за



пределами объектов ЛИРА за 2015 г. в сравнении с результатами контрольного периода наблюдений 2012-2014 гг.

Как следует из приведенных данных, удельная активность Cs-137 в пробах грунта из населенных пунктов находится в диапазоне значений от  $0,6 \pm 0,2$  Бк/кг до  $10,6 \pm 0,7$  Бк/кг, а в пробах грунта с территории, расположенной за пределами объектов ЛИРА – в диапазоне значений - от менее 0,9 Бк/кг до  $12,6 \pm 0,8$  Бк/кг. Указанные значения находятся значительно ниже нормируемого уровня 10 Бк/г (10 000 Бк/кг), установленного ГН СЭТОРБ, и не оказывают значимого воздействия на среду обитания человека и объекты окружающей среды.

### **ВЫВОДЫ**

- Исходя из результатов измерений удельных активностей техногенных радионуклидов следует, что радиоэкологическая ситуация на исследуемых территориях является стабильной и не вызывает опасений.
- Полученные значения удельных активностей искусственных радионуклидов не превышают уровня глобальных выпадений, а их максимальные значения находятся значительно ниже нормируемых пределов и не могут оказывать негативное воздействие на объекты окружающей среды и здоровье человека.
- Сравнительный анализ результатов определения содержания искусственных радионуклидов в поверхностных слоях почв зон фона, сравнения и контроля подтверждает принадлежность искусственных радионуклидов в почвах объектов ЛИРА к глобальным радиоактивным выпадениям.

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ РЕШЕНИИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ (НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА БАЛАПАН, СИЯП)**

*Утегенова М.А., Кушербаева Н.Н, Жолдыбаев А.К.*  
РГП ИГИ МЭ РК, Курчатов, Казахстан

### **АННОТАЦИЯ**

Балапан ауданының құрылымдық геологиялық мәліметтеріне және тау жыныстарының физикалық құрылысына сай физикалық өрістердің техногенді әлсіз құрылымы мен табиғи карталауды анықтаудағы сейсмикалық және электрлік параметрлері көрсетілген.

На основании данных по геологическому строению участка Балапан и анализа физических свойств горных пород обоснованы информативные сейсмические и электрические параметры для обнаружения и картирования природных и техногенных ослабленных структур в физических полях.

Based on the geological structure of the site Balapan and analysis of physical properties of rocks justified informative seismic and electrical parameters for the detection and mapping of the weakened man-made structures in physical fields.

Актуальность – несовершенство ранее применявшихся технологий выявления и картирования в фундаменте обводненных трещинных структур и оценки поствзрывной нарушенности и обводненности очаговых зон в блоках ПЯВ.

Цель – повышение достоверности выявления и картирования в фундаменте обводненных природных глубинных трещинных структур и оценка поствзрывной нарушенности и обводненности очаговых зон в блоках ПЯВ.

### **ЗАДАЧИ**

- выявление физических предпосылок для применения геофизических методов при изучении техногенно-измененных геологических сред в местах проведения ПЯВ (по литературным данным);
- практическая оценка информативности методов электроразведки и сейсморазведки при выявлении и картировании обводненных трещинных структур и оценке поствзрывной нарушенности очаговых зон в блоках ПЯВ.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В период деятельности СИП (Семипалатинский испытательный полигон) было проведено больше 100 испытаний ядерных взрывов в скважинах на площадках «Балапан» и «Сары-Узень». Площадка «Балапан» расположена в юго-восточ-

ной части полигона и занимает площадь 780 км<sup>2</sup>. Потенциальную опасность для окружающей среды, представляют проявленность на этих объектах современных геодинамических природно-техногенных процессов (обрушение полостей, повышение нарушенности среды, провалы, оседания территории) с не контролируемым распространением радионуклидного загрязнения в недрах.

В этой связи при оценке и прогнозировании геоэкологического состояния территорий проведения ПЯВ наиболее актуальными задачами являются выявление и картирование в фундаменте обводненных природных трещинных структур, распространяющихся на глубины проведения взрывов, и оценка поствзрывной нарушенности и обводненности очаговых зон в блоках ПЯВ. Решение первой задачи при обследовании больших площадей, что имеет место на участке Балапан, традиционными методами геологического картирования на основе бурения потребует значительных материальных затрат и времени. Для второй задачи эти методы технологии, связанные с проходкой скважин в гипоцентральных областях ПЯВ, вовсе не приемлемы, как нарушающие сформировавшийся геоэкологический режим испытательных площадок.

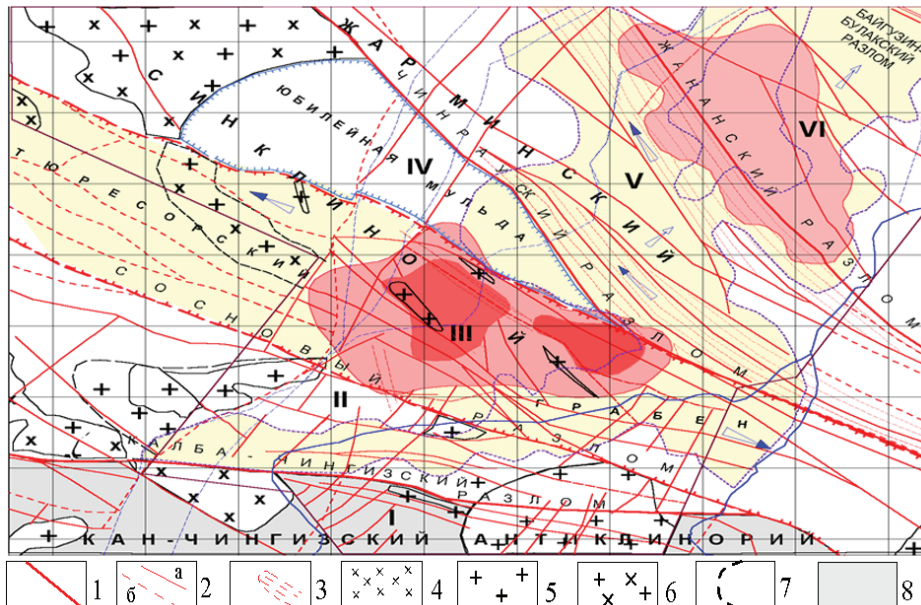
Учитывая важность задачи выявления и ранжирования обводненных ослабленных природных и техногенных структур и недостатки традиционных приемов ее решений, несомненна актуальность привлечения с этой целью других способов, свободных от указанных ограничений. В качестве таковых представляется целесообразным применение геофизических методов исследования недр, эффективно используемых при решении многих задач, в том числе и связанных с изучением обводненной трещиноватости геологических сред.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Информационную основу для обоснования эффективности привлечения геофизических методов для выявления и изучения глубинной природно-техногенной нарушенности и обводненности горных пород территорий проведения ПЯВ составили анализ физических предпосылок применения этих методов и данные полевых геофизических съемок.

Многочисленными исследованиями [1,2 и др.] показано, что в обводненных трещиноватых горных породах наблюдается устойчивое снижение электрического сопротивления. Это явление широко используется для выявления и картирования обводненных тектонически нарушенных зон электроразведкой методами сопротивления [3]. Однако, наличие в разрезе электропроводящих пород, может приводить к неоднозначной интерпретации anomalно повышенной электропроводности обводненными трещинными структурами. В этой связи, для повышения эффективности электроразведки при картировании тектонических структур, кроме параметра электрического сопротивления, как показано в [4,5,6], целесообразно привлечение данных по упругим свойствам. Anomalно понижение значений скорости упругих волн [1] и повышение энергии рассеянных волн [7,8] являются диагностическим признаком трещинных структур практически независимо от их обводненности.

В то же время, как известно, эффективность геофизических технологий в первую очередь определяется степенью их адаптации к конкретным физико-геологическим условиям изучаемых объектов. Обоснование способов и технологий, обеспечивающих изучение обводненной трещиноватости пород скального фундамента, явилось одним из направлений комплексных геофизических исследований РГП ИГИ РК. Результаты такого обоснования, на примере



1. региональные долгоживущие глубинные разломы;
2. прочие разрывные нарушения:
  - а. по геологическим данным,
  - б. по данным космодешифрирования;
3. зоны тектонического расслаивания пород;
4. интрузии среднего состава (диориты, кварцевые диориты);
5. гранитоидные интрузии (лейкократовые, биотитовые граниты; щелочные, субщелочные граниты; плагиограниты; гранодиориты);
7. контуры интрузивных тел по данным космодешифрирования;
8. антиклинории;
9. синклинории;
10. тюресорский грабен;
11. юбилейная мульда;
12. контур участка Балапан;
13. контур зон максимального механического воздействия ПЯВ на геологическую среду в пределах участков плотного расположения боевых скважин, по данным теоретических расчетов: повышенной (а) и высокой (б) интенсивности;
- 14 а. русло р. Шаган и ее притоков;
- б. палеоруслу р. Шаган по данным космодешифрирования;
15. номера блоков структурно-тектонического районирования;
16. основные возможные каналы и направления движения трещинных и трещинно-поровых вод от участков плотного расположения боевых скважин:
  - а. по тектоническим структурам;
  - б. по погребенной палеодолине р. Шаган.

Рисунок 1. Участок Балапан. Структурно-тектоническая схема по геолого-геофизическим данным и дешифрирования космоснимков [9]

участка Балапан, полученные при участии автора, являются предметом рассмотрения в настоящем докладе.

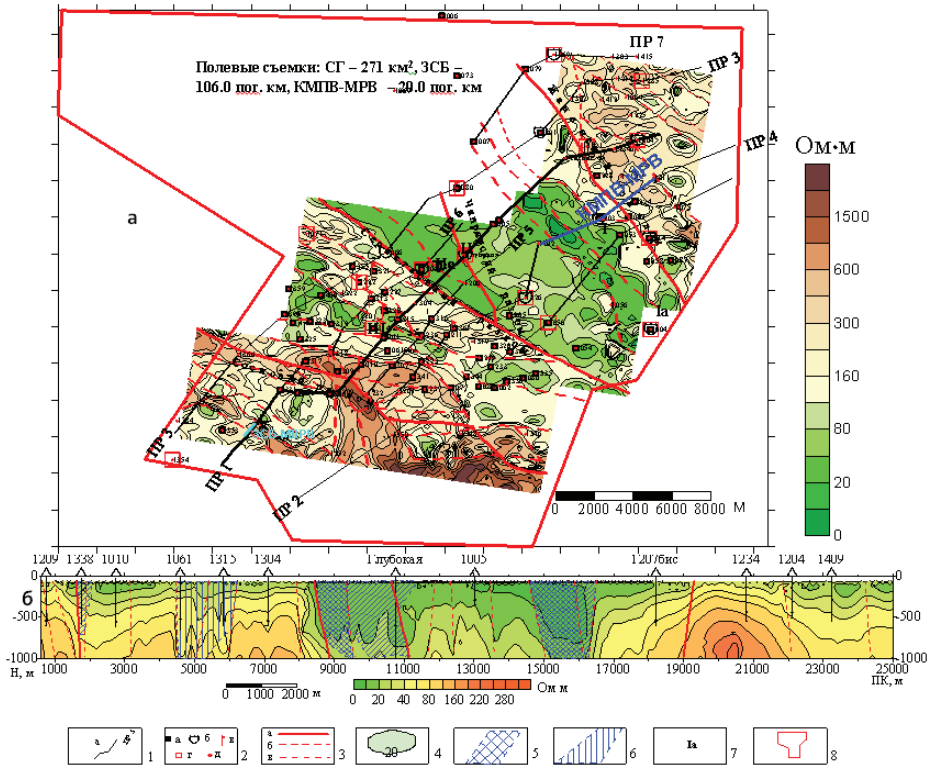
Участок Балапан расположен на территории Абайского района Восточно-Казахстанской области в юго-восточной части Семипалатинского испытательного ядерного полигона (СИП), в 100 км к юго-востоку от г. Курчатова. Через участок Балапан протекает река Шаган, впадающая в реку Иртыш в 80 км севернее от него. В структурно-тектоническом плане участок Балапан расположен в зоне сочленения двух крупных тектонических структур, входящих в состав восточного сектора обширного палеозойского Урало-Монгольского пояса (рисунок 1).

Как видно из этого рисунка, в целом участок Балапан и прилегающие территории характеризуются напряженной тектонической обстановкой, проявленной наличием региональных разрывных структур и системой разнонаправленных разломов. Сопровождающиеся тектонической трещиноватостью и интенсивной пликвативной дислоцированностью пород, они представляют собой ослабленные водопроницаемые структуры, которые можно рассматривать в качестве потенциальных каналов миграции радионуклидов. Наличие нескольких водоносных комплексов и гидравлической связи между поверхностными, трещинными и трещинно-поровыми водами, в сочетании с водопроницаемыми структурами, сопряженными с полостями ПЯВ, обуславливают формирование в пределах участка благоприятных условий для развития активных гидродинамических процессов и миграции техногенных радионуклидов в составе подземных вод с выходом на окружающие территории.

### **ВЫЯВЛЕНИЕ И КАРТИРОВАНИЕ ПО ПЛОЩАДИ ОБВОДНЕННЫХ ЗОН ТРЕЩИННОГО ТИПА В СКАЛЬНОМ ФУНДАМЕНТЕ УЧАСТКА БАЛАПАН**

Для повышения достоверности трассирования отдельных элементов тектонических структур и оценки обводненности пород скального фундамента на территории участка выполнены электроразведочные съемки – площадная, методом срединного градиента (СГ) и профилные зондирования методом становления в ближней зоне (ЗСБ), а также сейсморазведка методом первых вступлений с обработкой преломленных и рефрагированных волн (КМПВ-МРВ). Результаты электроразведочных съемок приведены на рисунке 2.

По данным электроразведки СГ (рисунок 2а) установлена существенная неоднородность скального фундамента по электрическому сопротивлению, изменяющегося в широких пределах – от единиц до нескольких тысяч Ом·м. Показано, что для изученной площади параметр электрического сопротивления характеризует не столько вещественный состав пород, сколько их водопроницаемость. Высокоомные поля интерпретировались как обусловленные слабопроницаемыми блоками горных пород. Области пониженных значений этого параметра увязывались с развитием обводненных трещинных структур и углефицированных пород, как наименее устойчивыми к деструктивному действию ПЯВ и благоприятными для развития поствзрывных деструктивных процессов и газовыделения.

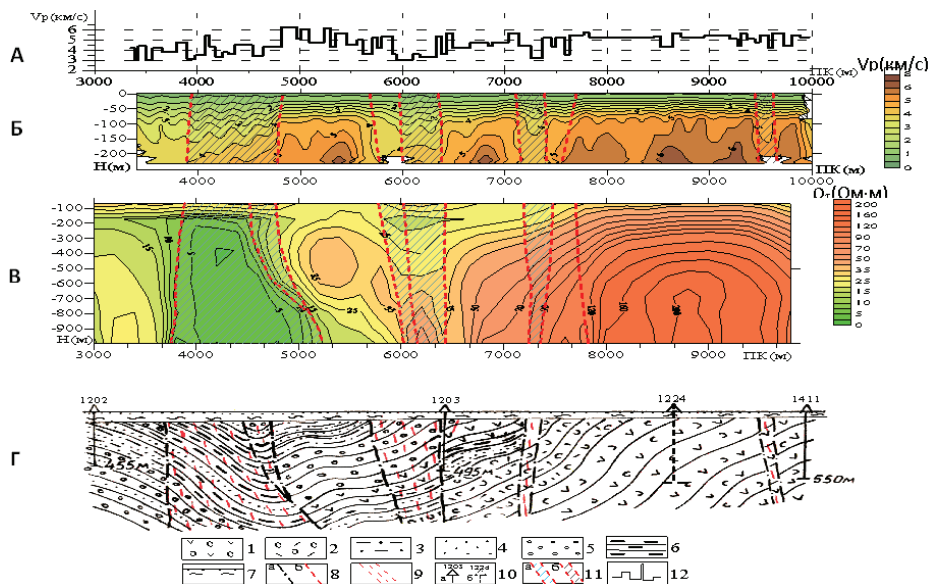


1. линии профилей геофизических исследований;
2. боевые скважины:
  - а. с гипоцентрами ПЯВ в горных породах, содержащих углефицированные образования;
  - б. с визуально наблюдаемыми провальными воронками;
  - в. газовыделением;
  - г. радиоактивным загрязнением прустьевых площадок;
  - д. не содержащие улистных горных пород и не отмеченные аномальными явлениями;
3. разломы:
  - а. региональные;
  - б. проявленные по геофизическим данным;
  - в. предполагаемые;
4. изолинии электрического сопротивления (в Ом·м);
5. зоны аномально высокой электропроводности, отвечающие зонам высокой водонасыщенности по данным ЗСБ;
6. контур аномалии фазового параметра поляризуемости и повышенной электропроводности горных пород;
7. зоны высокой водонасыщенности по данным СГВП.

Рисунок 2. Участок Балапан. Уточнение структурно-тектонической обстановки и обводненности пород фундамента по данным электроразведки

Картирование структурно-тектонической обстановки на глубину 800-1 000 метров выполнено электроразведкой ЗСБ по опорным профилям, проложенным вкрест простирания основных структур и пересекающих участок в северо-восточном направлении. Разрез в изолиниях электрического сопротивления (р<sub>т</sub>) представлен на рисунке 2б.

Как видно из этого рисунка, в контуры областей с пониженными значениями электрического сопротивления входит ряд боевых скважин, в том числе и с явно выраженными провальными явлениями – 1207, 1267, 1206, Глубокая (газовыделяющая), в разрезе которых кроме песчаников, конгломератов, алевролитов присутствуют углистые сланцы. Наличие таких пород, видимо, спровоцировало взрыв в скважине Глубокая и продолжающееся газовыделение в скважине 1080.



1 - андезитовые порфириты; 2 - туфы андезитов; 3 – алевролиты; 4 – песчаники; 5 – конгломераты; 6 - углистые сланцы; 7 - песчано-глинистые отложения осадочного чехла; 8 - тектонические нарушения по геологическим (а) и геофизическим (б) данным; 9 - зоны трещиноватости по геологическим данным; 10 - боевые скважины и их номера: а – на линии профиля, б – снесенная на линию профиля. 11- зоны трещиноватости: по данным электроразведки (а) и сейсморазведки (б); 12 - график граничных скоростей по данным сейсморазведки КМПВ.

Рисунок 3. Участок Балапан. Результаты комплексной интерпретации геофизических данных при картировании обводненных трещинных структур в скальном фундаменте по профилю 4

Очевидно, что эта группа скважин находится в условиях, благоприятных для развития потенциально опасных поствзрывных процессов, следствием которых может быть не только разрушение полостей, но и возгорание выделяющихся газов. Принимая во внимание, что однозначным признаком тектонически ослабленных и других трещинных структур является аномальное понижение в них значений скорости упругих волн, для уточнения природы некоторых электропроводящих зон были выполнены заверочные наблюдения сейсморазведкой КМПВ-МРВ. Пример такого комплексного подхода к выявлению обводненных трещинных структур по фрагменту профиля 4 приведен на рисунке 3.

По данным этих наблюдений по этому профилю в створе скважин 1202-1411, ин-

тервалы ПК 3800-4700 и ПК 5800-6300, характеризующиеся максимальной и повышенной электропроводностью, однозначно проявлены понижением скорости упругих волн. Важной особенностью распределения скорости упругих волн по кровле скального фундамента (рис.3-А) является широкий интервал ее изменения по латерали – от 6.0 до 3.0 км/с. Как свидетельствует опыт [1], значения 4.0-6.0 км/с характерны для не измененных, а меньшие – для пород в тектонически ослабленных трещинных зонах. По этим признакам наиболее ослабленными фрагментами разреза являются интервалы профиля ПК 3800-4800, ПК 5900-6400 и ПК 7250-7700. При этом, судя по распределению изолиний скорости (рис. 3-Б), практически все ослабленные зоны трассируются на всю глубину скоростного разреза.

Весьма похожее на скоростной разрез получено распределение параметра электрического сопротивления по данным ЗСБ (рис. 3-В). При значениях электрического сопротивления от 200-300 до единиц Ом·м наблюдается устойчивая корреляция значений электрического сопротивления и скорости упругих волн, в том числе в области пониженных значений этих параметров, пространственно увязываемой со скважиной ПЯВ 1203. Такая корреляция упругих и электрических свойств однозначно свидетельствует о единой природе наблюдаемых аномальных эффектов в параметрах электрического сопротивления и скорости упругих волн.

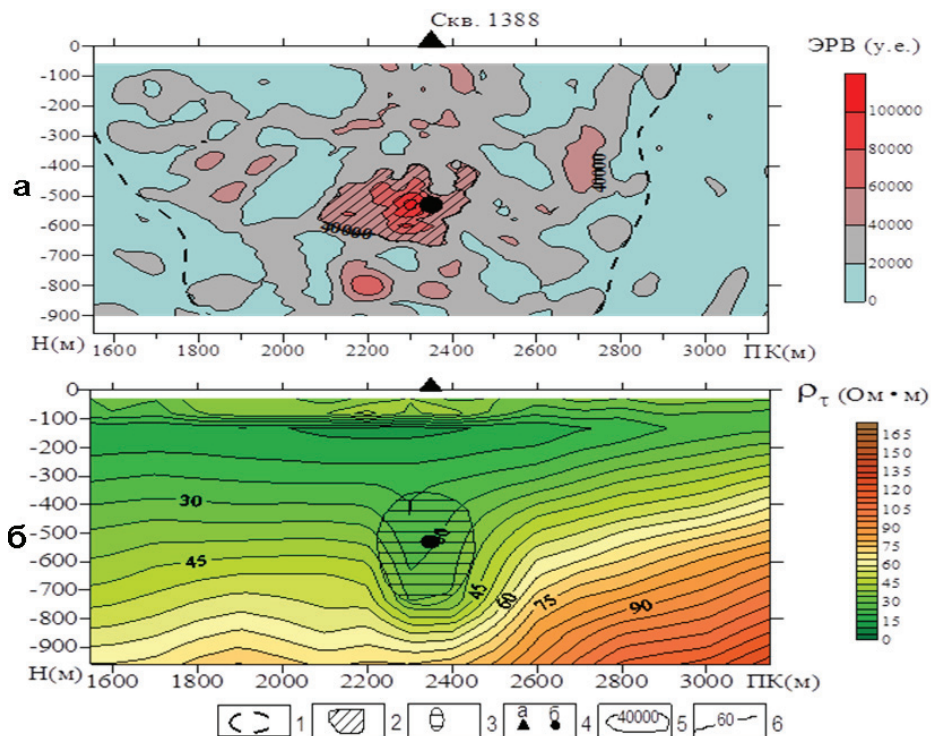
### **ОЦЕНКА ПОСТВЗРЫВНОЙ НАРУШЕННОСТИ И ОБВОДНЕННОСТИ ОЧАГОВЫХ ЗОН ПЯВ**

Возможность и эффективность решения этой задачи сейсморазведкой на (рассеянных) дифрагированных волнах (МДРВ) иллюстрируется на примере блока ПЯВ в скважине 1388, расположенной на южном фланге участка по профилю 1. В этой скважине проведено два взрыва мощностью до 150 и до 20 кТ, один из которых проведен на глубине 530 метров, сведения по второму ПЯВ отсутствуют.

В качестве физической основы применения сейсморазведки МДРВ использовано явление повышенной рассеивающей упругие волны способностью локальных трещинных структур. Результаты применения этого метода в блоке скважины 1388 совместно с детализирующими данными электроразведки ЗСБ приведены на рисунке 4.

По площадке скважины 1388 (рисунок 4а) установлено, что уровень нормального поля энергии рассеянных волн составляет порядка 20 000 у.е. Согласно полученному распределению поля энергии рассеянных волн максимальными ее значениями (60 000 усл.ед. и более) в интервале глубин от 650 до 400 метров выделена (по изолинии 40 000 у.е.) близкая к изометричной область с горизонтальной мощностью порядка 300-320 метров. Она проинтерпретирована, согласно определению и расчетным размерам, как зона дробления и интенсивной трещиноватости, обусловленная деструктивным действием ПЯВ. В целом по этой площадке область динамического воздействия ПЯВ (зона подновленных трещин) прослеживается в радиусе 600-650 метров, хотя расчетные размеры этой зоны, согласно [10], составляют величину не более 344-370 метров. Наиболее вероятным объяснением увеличения «дальности» деструктивного действия ПЯВ могло быть добавочное воздействие второго заряда.





1 – внешний контур механического воздействия ПЯВ на геологическую среду; 2 – зона максимальной трещиноватости и дробления пород в районе гипоцентра ПЯВ; 3 – обводненная область трещиноватости по данным электроразведки ЗСБ; 4 – эпицентр (а) и гипоцентр (б) ПЯВ; 5 – изолинии энергии рассеянных (дифрагированных) волн в у.е.; 6 – изолинии электрического сопротивления в Ом·м.

Рисунок 4. Участок Балапан. Оценка поствзрывной нарушенности (а) и обводненности (б) очаговой зоны в блоке скважины 1388

Особенностью геоэлектрического разреза по данным электроразведки ЗСБ в этом же сечении (рисунок 4б) является наличие локального понижения электрического сопротивления в районе гипоцентра ПЯВ. При этом важным моментом следует считать пространственную связь локальной электропроводящей зоны с областью максимальной трещиноватости и дробления, выявленной в рассеянных волнах. Учитывая эти обстоятельства, Контур наиболее значимых деформаций поля  $\rho\tau$  с аномально пониженными значениями этого параметра в интервале глубин 700-350 метров однозначно интерпретируется обводненной зоной интенсивной трещиноватости и дробления.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты свидетельствуют о высокой информативности и достоверности примененного комплекса геофизических методов при выявлении и глубинном изучении обводненных ослабленных природных и техногенных структур

в скальном фундаменте участка Балапан. При этом получены следующие основные результаты:

1. Выполненные электроразведочные съемки позволили существенно не только уточнить тектоническую обстановку, повысить надежность трассирования отдельных элементов тектонических структур, но и отранжировать территорию участка по поствзрывной водопроницаемости пород фундамента и определить области с повышенной вероятностью дестабилизации геологической обстановки в недрах. При этом однозначность диагностики тектонических структур обеспечена привлечением данных сейсморазведки по скорости упругих волн.
2. Показана высокая информативность параметров энергии рассеянных волн и электрического сопротивления, привлечение которых обеспечивает получение достоверной информации не только о наличии, геометрических характеристиках и пространственном положении очаговых зон деструкции, но и их обводненности.
3. Обоснованный комплекс методов вполне достаточен для решения задачи картирования водонасыщенных трещинных структур тектонического и техногенного происхождения в породах фундамента, как возможных каналов миграции радионуклидов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика / Под ред. Н.Б. Дортман, - 2 изд. перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. - 455 с.
2. Геофизические методы исследования земной коры. В.К. Хмелевской (Международный университет природы, общества и человека «Дубна»). Международный университет природы, общества и человека «Дубна», 1997 г.
3. Жданов, М.С. Электроразведка. Учебник для вузов. – М.: Недра, 1986. - 316 с.
4. Огильви, А.А. Основы инженерной геофизики: Учеб. для вузов / Под редакцией В.А. Богословского. – М.: Недра, 1990. - 500 с. с илл.
5. Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии. – М.: Недра, 1985. - 184с. (Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии).
6. Сейсморазведка. Справочник геофизика / Под ред. И.И. Гурвича, В.П. Номоконова. – М.: Недра, 1981. – 464 с.
7. Шапиро, С.А. О затухании сейсмических волн в горных породах как в дискретных рассеивающих средах / С.А. Шапиро, И.С. Файзуллин // Известия АН СССР Физика Земли, 1986. - № 9. – С. 56-63.
8. Файзуллин, И.С. Сейсмоакустические методы изучения трещиноватости горных пород / И.С. Файзуллин, И.А. Чиркин // Геоинформатика, 1998. - № 3.
9. Структурно-тектоническая схема участка Балапан по геолого-геофизическим данным и дешифрирования космоснимков. Архивы ИГИ. 2005-2007 гг.
10. Адушкин, В.В. Изменение свойств горных пород и массивов при подземных ядерных взрывах / В.В. Адушкин, А.А. Спивак. // Физика горения и взрыва. 2004. т. 40 -. № 6. С. 15-24.

## **ИНТЕРАКТИВНАЯ КАРТА СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА. РАЗРАБОТКА, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

***А.Е. Кауржанов, Ю.Г. Стрильчук,  
А.О. Омарханова, В.Н. Монаенко***

Филиал «ИРБЭ» 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 радиозоологическом 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 на базе Института радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра Республики Казахстан собран большой объём информации о современном радиозоологическом состоянии территории Семипалатинского испытательного полигона в том числе испытательных площадок.

Собранную информацию можно разделить на следующие виды:

- выдержки из печатной продукции;
- специальные карты распределения техногенных радионуклидов;
- архивный и современный фото- и видеоматериал;
- информация о современном радиозоологическом состоянии всей экосистемы СИП;
- виртуальные туры по объектам СИП;
- 3D модели объектов;
- интерактивные карты;
- базы данных.

В 2016 году в музее СИП в качестве информационного экспоната выставлена первая версия под названием «Интерактивная карта ядерных испытаний». Данное приложение содержит в себе информацию о проведении и последствиях проведения ядерных испытаний как на территории СИП, так и во всём мире. Но более детально представлена информация о современном радиозоологическом состоянии почвенного покрова, воздушного бассейна, подземных и грунтовых вод, поверхностных водоёмов, флоры и фауны Семипалатинского испытательного полигона. Таким образом, представленная в Интерактивной карте информация формирует у пользователей представление о последствиях испытаний ядерного оружия в мире.

## РАЗРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 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.



Рисунок 1. Структура «Интерактивной карты ядерных испытаний»

На картах различных масштабов расположены активные 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.

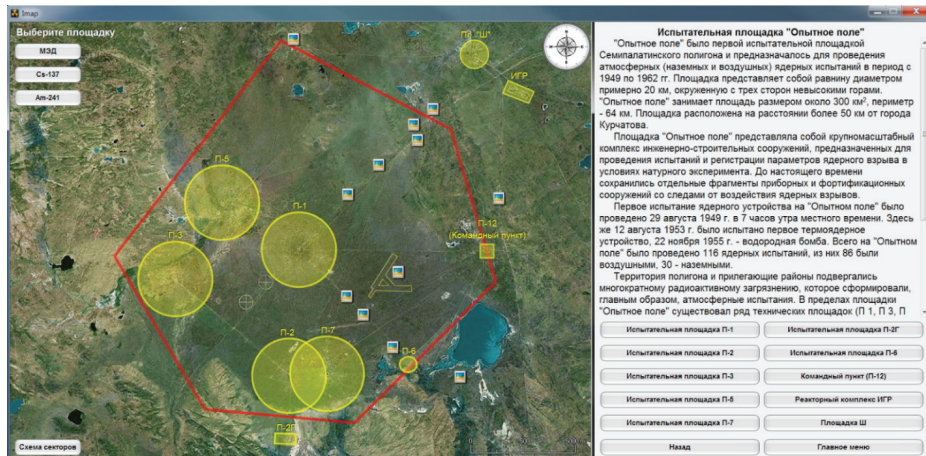


Рисунок 2. Выбор испытательной площадки

Для выбора программного обеспечения было протестировано более 10 программ, таких как Adobe Flash Professional, Interactive Menu, Wisy WebBuilder 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 не-

стабильной 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.

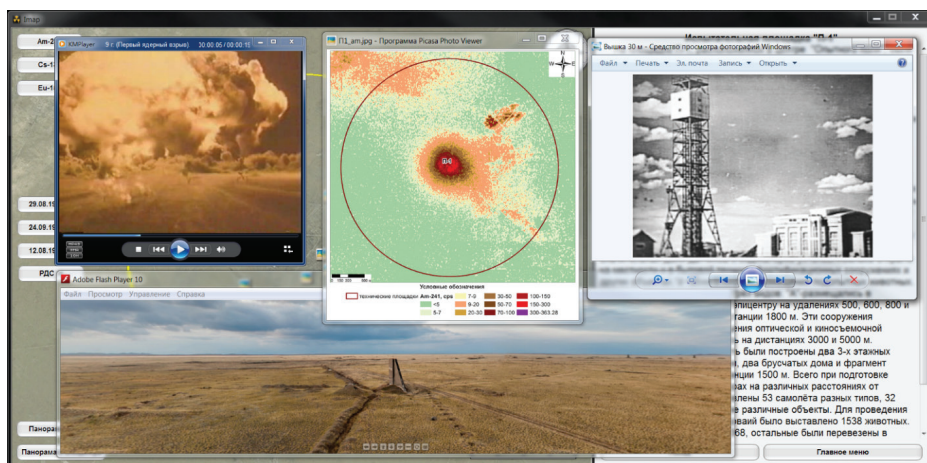


Рисунок 3. Выбор интересующей информации (фото, видео, специальные карты)

Работа с информацией – самый трудоёмкий и длительный процесс в данной работе, происходящий в настоящее время. Существует огромное количество источников информации о ядерных испытаниях. Поиск информации проводится по официальным книгам и специальным интернет-порталам, на основании чего проводится анализ, выделяется и переводится в электронный формат основная информация.

Для обработки файлов было применено несколько современных приложений: программы 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 фотографий;
- 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 1 000 активных точек.

Пользователями интерактивной карты, в основном, являются посетители музея СИП. Первоначальная демонстрация интерактивной карты осуществлялась через сенсорный моноблок диагональю 65 сантиметров. Позже экран телевизора диагональю 165 сантиметров был переоборудован в сенсорный дисплей при помощи наложения на него инфракрасной рамки. Это позволило напрямую управлять интерактивной картой путём прикосновения к активным областям экрана.

Первая версия интерактивной карты протестирована сотрудниками разных подразделений ИРБЭ НЯЦ РК. Вторая версия выставлена в музее СИП в качестве экспоната. Управление интерактивной картой оказалось простым и интуитивно понятным. Также в 2016 году интерактивная карта была передана в Библиотеку Первого Президента РК в качестве информационного экспоната.

### **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

Прогресс компьютерных технологий влияет на интерактивную карту как положительно, так и отрицательно. Положительное влияние заключается в появлении новых форматов предоставления информации. Отрицательное влияние заключается в том, что программное обеспечение интерактивной карты не позволяет применять новые форматы. После регулярного использования интерактивной карты иностранными и местными пользователями были выделены следующие проблемы:

- Программное обеспечение, с помощью которого создана интерактивная карта, не предусматривает функцию переключения языков. В настоящий момент существует только русскоязычная версия.
- Основное рабочее окно Интерактивной карты имеет неизменный размер 1900×900 пикселей. То есть, для того чтобы корректно использовать Интерактивную карту разрешение монитора должно быть не менее 1920×1080 пикселей. Это очень сильно ограничивает использование, так как среднестатистическое разрешение составляет 1366×768 пикселей.
- Весь набор карт представлен в ограниченном разрешении 1200×900 пикселей. Данное разрешение не позволяет плавно масштабировать карты. Это очень маленький размер для карт подобного рода, стоит учитывать еще и то, что на каждой карте определённой площадки нанесено от 10 до 100 пиктограмм, при взаимодействии с которыми всплывают дополнительные окна с фотографиями, специальными картами распределения радионуклидов. В среднем 20 процентов интересующей карты скрыто под этими пиктограммами, что не позволяет более детальное изучение.
- Интерактивную карту возможно использовать только на одном компьютере, который расположен в музее СИП, что значительно сокращает количество пользователей.
- Запуск интерактивной карты только на операционной системе Windows.

Для решения этих проблем было принято решение о создании «Радиоэкологического интерактивный атлас Семипалатинского испытательного полигона» на Web-платформе, что позволит объединить все три разноязычных версии в одном приложении. Размер окна атласа будет полностью адаптивным под любое современное устройство (любой монитор персонального компьютера, экран ноутбука, планшета, смартфона). В интерактивном атласе будет один единственный космоснимок компании Google, который можно будет плавно масштабировать в положительном и отрицательном направлении. Проблема пиктограмм также будет решена путём размещения на отдельном слое. Это позволит отключать все пиктограммы и расширить обзор карт до 100 процентов. Интерактивный атлас планируется разместить на защищенном сервере в сети интернет. Доступ сможет получить любой желающий после прохождения процедуры регистрации. Но вся информация будет доступна только для чтения. Web-платформа позволит запускать интерактивный атлас на всех известных операционных системах через веб-браузер.

Пользователь в любой точке мира после получения доступа сможет просматривать информацию. В настоящий момент интерактивная карта СИП пользуется спросом, все пользователи проявляют большой интерес. Но интерактивная карта расположена только в музее СИП в одном экземпляре. Пользователи ограничены во времени и просто не получают полного впечатления о современном радиоэкологическом состоянии СИП. Разработка интерактивного атласа позволит более широко ознакомить заинтересованных пользователей.

В настоящий момент разработан проект на базе конструктора Яндекс.Карты. Экспортированы все метки (границы полигона и испытательных площадок, места проведения испытаний, фото и видео материал, текст, специальные карты и т.д.). Следующим этапом будет внедрение и адаптация данного проекта в веб-среду. После чего Радиоэкологический интерактивный атлас Семипалатинского испытательного полигона будет размещен и доступен на одном из веб-сайтов Национального ядерного центра Республики Казахстан к началу 2020 года.

## ОЦЕНКА ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОРМАТИВОВ И ПРАВИЛ СЭТОРБ РК И РЕКОМЕНДАЦИЙ МКРЗ

**А.В. Топорова, А.Н. Шатров, Қ.Ә. Берікхан**  
Филиал «ИРБЭ» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

В настоящее время основой оценки степени радиационного риска является общепринятая и регламентированная нормативными документами Республики Казахстан (Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» (ГН СЭТОРБ) [1]) модель беспорогового действия ионизирующего излучения, в которой мерой радиационного риска является величина эффективной дозы.

В Республике Казахстан (далее – РК) существует категория людей, которая в процессе профессиональной и социальной жизнедеятельности подвержена воздействию повышенных доз радиации. К этой категории относится персонал предприятий ядерного топливного цикла, угольной, нефтегазовой, горнодобывающей промышленности, медицинских учреждений и научно-исследовательских подразделений, а также население, проживающее вблизи радиационно-опасных объектов.

В целях реализации Закона Республики Казахстан «О радиационной безопасности населения» приказом и.о. Министра национальной экономики Республики Казахстан от 27 марта 2015 года № 259 были утверждены Правила контроля и учета индивидуальных доз облучения, полученных гражданами при работе с источниками ионизирующего излучения (ИИИ), проведении медицинских рентгено-радиологических процедур, а также обусловленным техногенным радиационным фоном. На предприятиях, производственная деятельность которых включает работу с ИИИ, внутреннее облучение персонала контролируется, в основном, расчетными путями. Оценка радиационных параметров проводится периодически, и в подобных расчетах участвуют некие средние величины, которые, зачастую, могут отличаться от реальных.

Существующие в РК Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» № 261 предлагают методику оценки доз в случае известного поступления радионуклидов в организм человек [2]. При этом, основной проблемой, как раз, остается объективная оценка поступающих в организм человека радионуклидов. В Приложении 15 к Санитарным правилам (СП СЭТОРБ № 261) приведена методика оценки доз облучения работников НГК (организация нефтегазовой отрасли) природными источниками. Хотя, данную методику можно обобщить и на техногенные изотопы. Приведена расчетная оценка внешнего облучения работников, контроль облучения работников за счет ингаляционного поступления долгоживущих природных радионуклидов с производственной пылью и контроль облучения работников изотопами радона и их короткоживущими дочерними продуктами. И соответственно годовая эффективная доза производственного облучения работников равна сумме доз внешнего и внутреннего облучения.



Эффективная доза внутреннего облучения работника за счет ингаляционного поступления с производственной пылью одного радионуклида на одном постоянном рабочем месте определяется по формуле:

$$E_{\text{внутр}} = k_d \cdot C_n \cdot p \cdot V \cdot T, \text{ мЗв/год} \quad (1)$$

где  $k_d$  – дозовый коэффициент (Зв/Бк), значения которого для основных радионуклидов рядов урана и тория приведены в Приложении 17;

$C_n$  – удельная активность радионуклидов в производственной пыли, кБк/кг;

$p$  – средняя запыленность воздуха, мг/м<sup>3</sup>;

$V$  – средняя скорость дыхания работающих, м<sup>3</sup>/ч;

$T$  – время нахождения в зоне запыленности в течение года, ч/год.

Выражение (1) справедливо при оценке доз облучения в случае постоянных значений величин  $C_n$ ,  $p$  и  $V$ .

В большинстве случаев при оценке дозы внутреннего облучения используется значение объемной активности в воздухе. Если изначально известно значение среднегодовой объемной активности радионуклида в воздухе, то формула для оценки дозы внутреннего облучения от ингаляционного поступления будет выглядеть так:

$$E_{\text{инг}} = q_i \cdot e_{\text{инг}i}, \text{ мЗв/год} \quad (2)$$

$q_i$  – годовое поступление  $i$ -го изотопа, поступившего в организм через дыхательный тракт, Бк/год;

$e_{\text{инг}i}$  – дозовый коэффициент  $i$ -го изотопа при поступлении его ингаляционным путём, указанный в ГН СЭТОРБ в Приложении 21 для персонала, Зв/Бк.

Данные методы не учитывают: индивидуальные характеристики выведения и удержания радионуклидов в организме; размеры вдыхаемых частиц; сценарий поведения (период работы, скорость дыхания, и т.д.).

К недостаткам подхода регламентированного Гигиеническими нормативами № 155 и Санитарными правилами СЭТОРБ № 261 можно отнести:

1. Дозовые коэффициенты не разделяются на возрастные группы.
2. Отсутствует разделение на интенсивности физических нагрузок (легкая работа, тяжелая работа).
3. Дозовые коэффициенты представлены только для размеров частиц 1 мкм.
4. Дозовые коэффициенты представлены для ожидаемой дозы за 1 год.

Определяющий фактор для ингаляционного пути поступления радионуклидов в альвеолярные отделы легких – диаметр вдыхаемых частиц. Согласно п.2 пп.16 ГН СЭТОРБ приведенные в приложениях 21 и 22 значения дозовых коэффициентов, а также величин ПГП персонала, ПГП населения, ДОО персонала и ДОО населения, для воздуха рассчитаны для аэрозолей с логарифмически нормальным распределением частиц по активности при медианном по активности аэродинамическом диаметре (АМАД) 1 микрометр и стандартном геометрическом отклонении, равном 2,5. А на практике, например в урановой промышленности,

диаметр частиц для разных типов производств и рабочих мест находится в диапазоне от 0,5-20 мкм (таблица 1) [3].

**Таблица 1. Распределение частиц по размерам для различных производственных этапов ЯТЦ**

Тип рабочего места	Процесс	Радионуклиды	САДА, мкм
Завод по обогащению урана	После 2 ч пассивного состояния	Уран (желтый кек)	3-6
	Загрузка барабана		6-12
	Отбор порошка		12-20
	Опечатывание крышки		12-20
Обогатительный завод	Уран		8
Завод по выпуску топлива	Загрузка топливных таблеток	Уран	5,2
	Перемалывание таблеток		5,7
Завод по переработке урана	Распил	Уран (естественный)	0,3
	Работа сжигания оксидов		0,12
	Сжигание урановых обрезков	Уран	6,0
Урановые шахты	Остановка	Уран	5
	Камнедробилка (подземная)	Уран/торий	7
	Обычная добыча	Долгоживущие альфа-излучающие	11,7
	Дробление руды и транспортировка (подземная)	$^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{238}\text{Th}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $^{224}\text{Ra}$	3
	Обслуживание (включая вывод из эксплуатации)		8.9

Как видно из таблицы, фактические значения величин АМАД, наблюдаемые на различных производственных этапах, могут быть существенно больше или меньше 1 мкм, для которого табулируются дозовые коэффициенты в ГН СЭТОРБ.

Поступления радионуклидов могут происходить несколькими путями. В профессиональном облучении основной путь поступления – ингаляция. Поступления могут происходить непосредственно перорально, а для некоторых радионуклидов поглощение может происходить через неповрежденную кожу. Повреждение кожи порезами или иными ранами также может приводить к поступлениям радионуклидов (Рисунок 1).

Для профессионального облучения работников Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) разработала серию моделей, представляющих поведение радионуклидов, которые попали в организм путем ингаляции или перорально. Эти модели могут применяться для регулирующего контроля рабочего места [4].

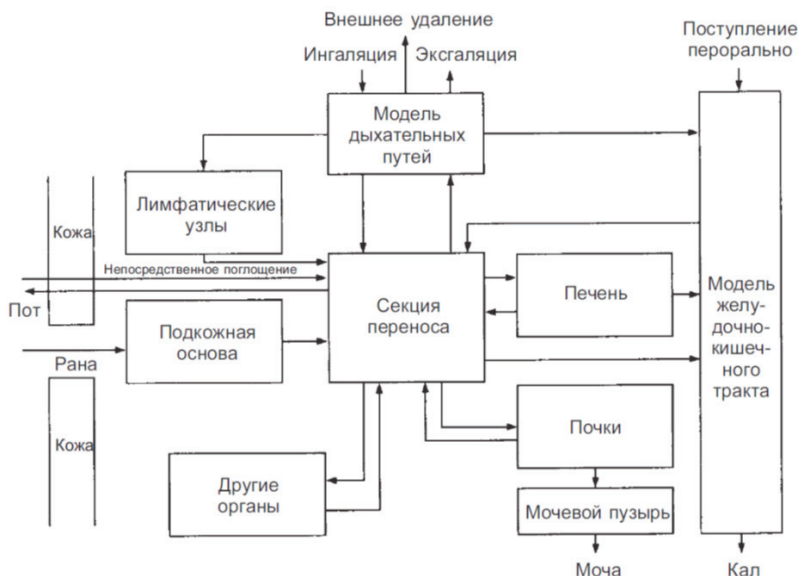


Рисунок 1. Пути поступления, переноса и выведения радионуклидов

Система оценки доз внутреннего облучения, обусловленного поступлением радионуклидов в организм человека, основана на расчете поступления радионуклида, которое можно считать операционной величиной при оценке доз внутреннего облучения. Поступление можно оценить либо посредством прямых измерений (например, мониторинг излучения, исходящего с поверхности всего тела человека или от отдельных органов или тканей), либо с помощью косвенных измерений (например, измерений мочи или кала), или по результатам измерений проб окружающей среды с последующим применением биокинетических моделей. После этого можно рассчитать эффективную дозу, исходя из значения поступления и используя дозовые коэффициенты, рекомендованные Комиссией для большого числа радионуклидов. Эти дозовые коэффициенты заданы отдельно для лиц из населения различных возрастов и для взрослых людей, подвергающихся профессиональному облучению [4].

Для учета выше озвученных факторов необходимо использование биокинетических моделей организма человека и радионуклидов. МКРЗ в своих публикациях представляет модели ЖКТ, легочной системы и модели основных естественных и техногенных радионуклидов [5,6,7].

Биокинетическая модель – математическая модель, описывающая поступление,

поглощение и удержание радионуклида в различных органах или тканях тела и последующее выделение из организма различными путями. На рисунке (Рисунок 2) представлена биокинетическая модель урана [7].

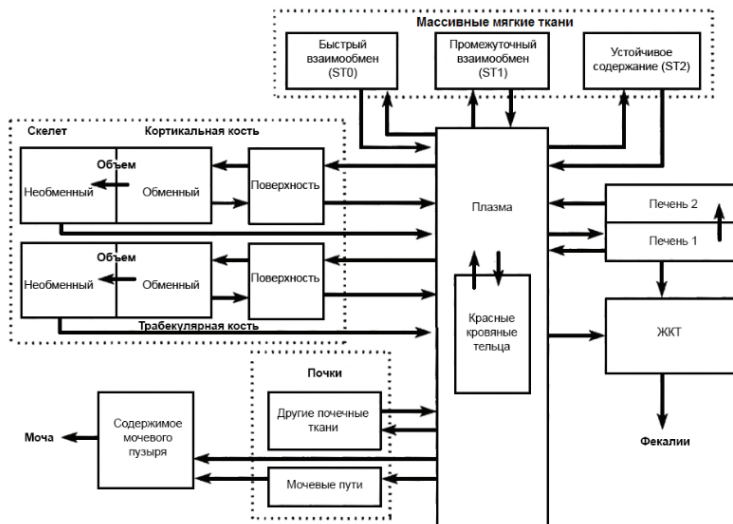


Рисунок 2. Биокинетическая модель урана

Публикации МКРЗ представляют все коэффициенты перехода между камерами биокинетической модели. На их основе составляется система дифференциальных уравнений решение которой дает искомую функцию выведения/удержания радионуклида в организме.

Использование функции выведения  $m(t)$  позволяет учесть биокинетику радионуклидов в организме. В этом случае возможна оценка эффективной дозы внутреннего облучения не только в критическом органе, но и в транзитных органах или тканях. Используя временную зависимость функции выведения  $m(t)$  возможен пересчет с измеренной активности на начальное поступление, т.е. возможно проведение реконструкции эффективных доз внутреннего облучения. Возможен учет возраста человека, средних аэродинамических диаметров аэрозолей, коэффициентов всасывания кишечника.

Сотрудниками филиала ИРБЭ уже сделаны предварительные расчеты функции выведения урана с мочой при различных нагрузках и типах дыхания. Обычные условия труда (дыхание через нос) и выполнения тяжелой работы при дыхании через нос и рот (Рисунок 3).

Как видно, в случае дыхания через рот при выполнении тяжелой работы содержание урана в моче существенно повышается.

Если наши условия не особо отличаются от стандартных можно использовать

значения функции, табулированные в публикации МАГАТЭ [8]. Функция удержания дается практически для всех значимых радионуклидов для основных типов поступления для различных моментов времени. Значения функции удержания даются для легких, всего тела, печени, мочи и кала. Под моментом времени подразумевается временной промежуток между поступлением и моментом измерения на СИЧ, или моментом измерения биосубстратов. С помощью данной функции мы переходим от активности померенной к активности поступившей в организм. Однако значения представлены только для значений активного медианного аэродинамического диаметра (АМАД) = 1 мкм и 5 мкм.

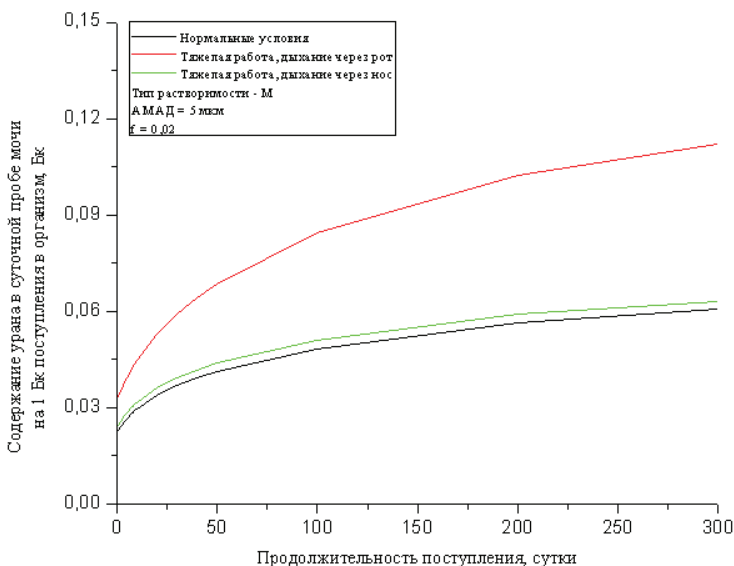


Рисунок 3. Функции выведения урана с мочой при различных нагрузках и типах дыхания

Таким образом, выбирая соответствующие начальные условия (тип дыхания, интенсивность нагрузки, возраст) мы можем провести расчеты для условий максимально приближенным к реальным. Гигиенические нормативы и Санитарные правила СЭТОРБ не дают такой возможности.

Конечным результатом данных расчетов является функция, которая описывает выведение радионуклида из организма с мочой или калом, или удержание радионуклида в отдельно взятом органе.

Данные функции уже используются при непосредственной оценке дозы внутреннего облучения, либо для прогнозирования накопления радионуклида в различных органах.

И так, расчет дозы внутреннего облучения согласно МКРЗ проводится по выражению:

$$D = \frac{A_{\text{Urine}}}{m(t)} \times d \quad (3)$$

где  $A$  – активность в биосубстратах (суточная моча, кал), Бк;  
 $m(t)$  – функция выведения радионуклида с мочой, или удержание в теле (для нестандартных условий рассчитывается самостоятельно);  
 $d$  – дозовый коэффициент, Зв/Бк (для нестандартных условий рассчитывается самостоятельно).

Отношение активности в моче, или в теле человека к функции  $m(t)$  дает величину активности, которая поступила в организм человека в начальный момент времени. Т.е. расчет дозы проводится на фактически измеренной активности либо в теле человека, либо в суточных биосубстратах. В ГН СЭТОРБ, и ему аналогичных документах, величина поступления рассчитывается теоретически на основе значений объемной активности радионуклида в воздухе, интенсивности дыхания и прочего. Естественно, предполагая, что эти величины со временем не меняются.

Таким образом, для расчета дозы внутреннего облучения необходимо определить активность радионуклида в суточной пробе биосубстратов, и/или в теле человека (или в отдельном органе). Данные методы называются биофизическими. Они разделяются на косвенные – анализ биосубстратов, и прямые – прямое измерение активности на счетчике излучения человека (СИЧ).

На базе филиала ИРБЭ НЯЦ РК в г.Курчатов проводятся работы по прямому определению содержания радионуклидов в теле человека и косвенными методами. Прямой метод: счетчик излучения человека -  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ . Косвенный метод: альфа-бета-гамма - масс спектрометрический анализ суточных проб мочи:  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^3\text{H}$  и  $\text{U}$ .

В заключении хотелось бы отметить что, использование биокинетических моделей в сочетании с биофизическими методами дозиметрии позволяет проводить более «точную» оценку доз внутреннего облучения персонала, по сравнению с упрощенными подходами, регламентированными Казахстанскими нормативами и правилами.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» утверждены приказом Министра национальной экономики РК № 155 от 27.02.2015.
2. Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» утверждены приказом и.о. Министра национальной экономики РК № 261 от 27.03.2015.
3. H. Connelly, R.G. Jackson Report «Review of Respirable Particle Size Range», Nuclear Decommissioning Authority Radioactive Waste Management, United Kingdom, 2013.

4. International Commission on Radiological Protection, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Annals of the ICRP 21 (1-3).
5. Limits for the intake of radionuclides by workers. ICRP Publication 30, Part 1. Ann. ICRP 2 (3/4).
6. ICRP, 1994a. Human respiratory tract model for radiological protection. ICRP Publication 66, Ann ICRP 24 (1-3).
7. International Commission on Radiological Protection, Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers: Replacement of ICRP Publication 54, ICRP Publication 78, Annals of the ICRP 27(3-4), Pergamon Press. – Oxford, 1997.
8. Methods for Assessing Occupational Radiation Doses Due to Intake of Radionuclides. Safety Report series No.37. - Vienna: International Atomic Energy Agency, 2004.

## СОДЕРЖАНИЕ

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА И СНИЖЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ НА УЧАСТКЕ ПЕРЕРАБОТКИ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ <i>Смайлов Б.М., Калиев К.С., Загребин А.К.</i> .....	3
ВОВЛЕЧЕНИЕ СОДОВЫХ РЕЭКСТРАКТОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПЕРЕРАБОТКИ СКРАПОВ <i>Болтанов А.В., Корнилович М.В., Русин Ю.Г., Ярошенко Н.Н., Дорн А.А.</i> .....	8
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РГП «ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ» В ОБЛАСТИ РАДИОЭКОЛОГИИ <i>Макарова В.А., Севериненко М.А., Глущенко В.Н.</i> .....	13
МЕТОДИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ ЛИТИЕВОЙ КПС С ДЕЙТЕРИЕМ <i>Аскербеков С.К., Кульсартов Т.В., Чихрай Е.В., Гордиенко Ю.Н., Понкратов Ю.В., Кадыржанов К.К., Писарев А.А.</i> .....	17
ПРИМЕНЕНИЕ ВЫВЕДЕННЫХ ПУЧКОВ НЕЙТРОНОВ ДЛЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ <i>Бауыржан А.Б., Буртебаев Н.Т., Шаймерденов А.А.</i> .....	22
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДОБЫЧИ УРАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ <i>Калыкова Г.М., Разуваева Т.В., Мырзабек Г.А., Поезжаев И.П.</i> .....	32
РАДИАЦИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ (РУ) БН-350 <i>Қонысбаев Н.Ш., Иванов А.И.</i> .....	39
СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ПРИЛЕГАЮЩИХ К ОБЪЕКТАМ ЛИРА <i>Макарова В.А., Суздальцева Т.В., Ли Р.А., Севериненко М.А., Филиппова Л.Н., Моренко В.С.</i> .....	47
РЕГЕНЕРАЦИЯ ОТРАБОТАННОГО ЭКСТРАГЕНТА УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА АО «УМЗ» <i>Болтанов А.В., Корнилович М.В., Ярошенко Н.Н., Русин Ю.Г., Романова К.Б.</i> .....	63
МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО АУДИТА ДЛЯ УЧЕТА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ ДОБЫЧИ <i>Ташимов С.Е., Аманбай М.С., Никитина Ю.Г., Мырзабек Г.А.</i> .....	66



КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ УРАНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ <i>Торебеков А.К.</i> .....	76
МЕТОДИКА СООРУЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН С ВРЕМЕННОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ ОТСТОЙНИКА <i>Тулепбергенов А.Т.</i> .....	79
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЕЙ СТЕРЖНЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ КРИТИЧЕСКОГО СТЕНДА МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО <i>Умархалинова А.Ж., Шаймерденов А.А.</i> .....	82
ОПЫТ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ <i>Филиппова Л.Н., Сляднева В.Н., Севериненко М.А.</i> .....	87
МЕТОДОЛОГИЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ И ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ <i>Жумагазеева Д.Ж., Ерден А., Минжанова Г.М., Макарова В.А.</i> .....	93
ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ $\gamma$ -АКТИВНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ОБЪЕКТА «ЛИРА» <i>Мильц О.С., Моренко В.С., Севериненко М.А., Макарова В.А., Зарипова Ю.А.</i> .....	99
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ РЕШЕНИИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ (НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА БАЛАПАН, СΙΑП) <i>Утегенова М.А., Кушербаева Н.Н., Жолдыбаев А.К.</i> .....	104
ИНТЕРАКТИВНАЯ КАРТА СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА. РАЗРАБОТКА, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ <i>Каиржанов А.Е., Стрильчук Ю.Г., Омарханова А.О., Монаенко В.Н.</i> .....	113
ОЦЕНКА ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОРМАТИВОВ И ПРАВИЛ СЭТОРЬ РК И РЕКОМЕНДАЦИЙ МКРЗ <i>Топорова А.В., Шатров А.Н., Берікхан Қ.Ә.</i> .....	118

ДЛЯ ЗАМЕТОК



Формат 148x210 мм  
Гарнитура Arial, кегль 9  
Тираж 300.

Дизайн и верстка: Алиев С.А.

Отпечатано в типографии:  
ТОО «Типография Форма Плюс», г. Караганда,  
ул. Молокова, дом №106, корпус 2. КНП 710.