



IAEA

International Atomic Energy Agency
Atoms for Peace and Development

Долгоживущие радионуклиды в производственной пыли (ДЖРП)

Учебно-методические материалы по радиационной защите
персонала уранодобывающих и перерабатывающих
предприятий



IAEA

International Atomic Energy Agency
Atoms for Peace and Development

ДЖРП

- Введение. ПЖРП
- Меры контроля
- Мониторинг и дозиметрия
- Резюме и вопросы для обсуждения(по 2 вопроса и ответа для обсуждения)



IAEA

International Atomic Energy Agency

Atoms for Peace and Development

Введение

- Характеристика ДЖРП
- Источники облучения ДЖРП

- Урановая руда содержит все изотопы цепочки распада ^{238}U и ^{235}U .
 - с точки зрения внутреннего облучения наиболее значимыми изотопами являются долгоживущие альфа-излучающие нуклиды ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra и ^{210}Po .
- Серьезность угрозы причинения вреда при ингаляции ДЖРП зависит от вида руды и специфики применяемых технологических процессов
- Облучение за счет ДЖРП может иметь место на любом участке горной выработки или обогатительного комбината, где возможно наличие пыли в воздухе.

Облучение за счет ДЖРП



- Потенциальная опасность облучения за счет ПДЖР существует везде, где производится добыча, обращение, переработка и хранение руды.
- Горняки сталкиваются с опасностью ингаляции от ДЖРП
 - при буровзрывных работах, где мелкие частицы могут попасть в атмосферу
 - везде, где обрабатывается рудный материал
 - во время перевозок и формирования складов
- При измельчении руды работники-операторы имеют наиболее высокую вероятность столкнуться с ДЖРП
 - по мере поступления руды в процесс измельчения через дробильно-измельчительные установки
 - оборудование для перевалки и транспортировки руды
 - поскольку урановые концентраты сушат и упаковывают (также относится к подземно-скважинному выщелачиванию - ПСВ)
 - в местах, где есть утечки

- Вдыхание ДЖРП, находящейся в воздухе, представляет собой опасность на урановых горных выработках, обогатительных комплексах и в зонах производства готовой продукции на рудниках ПСВ.
- Степень опасности зависит от
 - концентрации ПДЖР в воздухе,
 - химического состава,
 - размера частиц материала
- Химический состав определяют растворимость и абсорбционные характеристики;
- Обратите внимание, что химическая токсичность урана является важным фактором

- Распределение аэрозольных частиц по размерам оказывает существенное влияние на дозовый коэффициент.
- Частицы размером менее 20 мкм поступают в дыхательные пути, частицы размером менее 5 мкм способны достичь нижних дыхательных путей
- Степень растворимости и, следовательно, абсорбции, удельная активность и размер частиц вдыхаемой пыли будут определять итоговую дозу облучения.



IAEA

International Atomic Energy Agency
Atoms for Peace and Development

Меры контроля для ДЖРП

- **Инженерно-технические средства контроля**
- **Средства административного контроля**

- Ключевым соображением при проектировании установок для переработки урановой руды и отработанных материалов должно быть хранение и предотвращение распространения радиоактивных материалов.
- Радиоактивные материалы, нераспространение которых не может быть эффективно обеспечено во время протекания рабочих процессов, необходимо контролировать с помощью вентиляции, чтобы предотвратить выброс загрязняющих веществ и свести к минимуму воздействие на персонал.
- При планировании и проведении ремонтных работ может потребоваться особая осторожность.

Контроль ДЖРП



- Образование пыли в процессе добычи должно быть сведено к минимуму за счет использования соответствующих методов добычи, таких как использование надлежащих техник взрывания и временных ограничений, использование воды и других средств подавления пыли, и соответствующего оборудования.
- Там, где образуется пыль, предпочтительно, чтобы она подавлялась в непосредственной близости от источника.
 - Там, где это необходимо и практически осуществимо, источник находится в зоне с отрицательным давлением воздуха;
 - Пыль, которая не была подавлена в непосредственной близости от источника, может быть разбавлена до приемлемого уровня посредством частого воздухообмена в рабочей зоне;
 - Отводимый воздух должен быть отфильтрован перед выпуском в окружающую среду.
- Пункты выгрузки и транспортировки руды являются источниками пыли и могут потребовать установки местной вытяжной вентиляции
- Необходимо предусмотреть меры борьбы с вторичным подъемом пыли, вызванным высокими скоростями движения воздуха.

- В тех случаях, когда методы борьбы с пылью не обеспечивают приемлемого качества воздуха в рабочих зонах, для работников должны быть предусмотрены закрытые рабочие боксы, оборудованные средствами фильтрации воздуха, и/или средства защиты органов дыхания.
- В некоторых случаях работникам, выполняющим задачи на участке готовой продукции (например, техническое обслуживание сушилки), может потребоваться защита органов дыхания.
- В зависимости от концентрации активности в воздухе респираторные устройства могут варьироваться от респираторов для защиты от пыли (P1 – P3) до респираторов с принудительной очисткой воздуха от пыли (PAPR) с коэффициентом защиты 100.



IAEA

International Atomic Energy Agency
Atoms for Peace and Development

Мониторинг и дозиметрия

- **Мониторинг**
- **Анализ мочи**
- **Дозиметрия**

Мониторинг и дозиметрия – Для чего нужен Мониторинг ДЖРП?

- Оценка поступления радионуклидов в организм работника;
- Проверка эффективности борьбы по нераспространению радиоактивных материалов;
- Оповещение об аномально высоких концентрациях;
- Оценка утечки ДЖРП при производстве уранового концентрата, упаковке в целом и упаковке в бочки в частности, а также - из систем удержания и бочек;
- Определение, достаточно ли высокие концентрации ДЖРП в воздухе для введения в действие мер дополнительной регистрации или контроля доступа, усиленного мониторинга и/или защиты органов дыхания.

Мониторинг и дозиметрия

- В воздухе зон добычи и измельчения руды (включая ПСВ), концентрации ДЖРП контролируются с помощью как мониторинга воздуха на рабочем месте (участке), так и индивидуального мониторинга, включая непрерывные измерения и/или методы отбора проб.
- В соответствии со степенью опасности, также может проводиться мониторинг биопроб на содержание радионуклидов в экскрементах (моче) для оценки поступления ДЖРП.

Мониторинг и дозиметрия



- Мониторинг рабочей зоны
 - Пробоотборники размещены на рабочем месте
 - Воздух на рабочих местах, где размещаются пробоотборники для измерения концентрации ДЖРП в воздухе, должен иметь те же характеристики, что и воздух, которым дышат работники
 - Время нахождения работника в зоне проведения пробоотбора должно фиксироваться
 - В зависимости от условий экспозиции предусматривается как стационарное размещение, так и перемещение пробоотборника с использованием разового или непрерывного пробоотбора.

Мониторинг и дозиметрия

- Отбор проб ДЖРП на рабочем месте часто может проводиться в рамках мониторинга рабочего места или индивидуального мониторинга, как описано ниже.
- И то и другое может использоваться (либо в качестве альтернативных решений, либо в комбинации, где это уместно) для определения уровней облучения ДЖРП для оценки дозы.
- Индивидуальный мониторинг может быть необходим в определенных обстоятельствах из-за повышенных и/или переменных концентраций ДЖРП, трудностей при оценке продолжительности облучения в нескольких местах и/или других факторов, связанных с вопросами репрезентативности результатов при использовании только пробоотборников воздуха, размещенных на участке.

- Частицы пыли, улавливаемые фильтром для отбора проб воздуха, анализируются путем измерения активности альфа-излучающих радионуклидов цепочки U^{238} .
- Величина суммарной скорости счета альфа-частиц широко используется для проведения рутинного анализа
 - Для рудничной пыли, если только нет оснований подозревать, что ее параметры превысили равновесные, в целом можно предположить, что все радионуклиды в цепочке распада U^{238} находятся в радиоактивном равновесии во время отбора проб.
 - На участках переработки, стоящих после выщелачивания, предполагается, что пыль будет главным образом содержать изотопы урана в рамках потока продукции и остальные радионуклиды в рамках потока отвального материала.

Мониторинг и дозиметрия



- Контроль ДЖПР осуществляется с помощью мониторинга рабочих зон и/или с помощью индивидуального пробоотбора.
- Расчет дозы основан на
 - средней концентрации ДЖПР для каждой ГСУ и количестве часов, потраченных на выполнение соответствующей задачи или в соответствующей ГСУ;
 - результатах индивидуального мониторинга с помощью пробоотборников. В зависимости от подхода к оценке дозы допускается использование данных квартальных или годовых сводных таблиц содержания ДЖПР с последующим внесением полученных данных в текущий табель ГСУ или таблицу оценки годовой дозы.

Мониторинг и дозиметрия



- Индивидуальный мониторинг
- Пробоотборники необходимо располагать и носить в соответствии с установленными стандартами, в целях обеспечения верного расположения пробоотборника в “зоне дыхания” (например, на лацкане рубашки), соответствующей условиям поступления радионуклидов в организм работника.
- Индивидуальный отбор проб осуществляется в обязательном порядке для сотрудников:
 - работающих в зонах контролируемого доступа, в которых ДЖПР, поступающие ингаляционным путем, могут внести значительный вклад в общую дозу облучения
 - и / или в случаях, когда работа предусматривает смену нескольких рабочих мест, что затрудняет получение надежной информации о времени пребывания на рабочем месте и условиях облучения (концентрация ДЖПР в воздухе зон дыхания работников).

- Непрерывный контроль
 - На участках или для процессов, в которых существует потенциальная возможность повышенного уровня ДЖПР и/или аварий, которые могут привести к значительному облучению, может потребоваться осуществлять непрерывный мониторинг содержания ДЖПР в воздухе.
 - При использовании приборов непрерывного контроля воздуха с автоматической сигнализацией устанавливаются наиболее низкие, насколько практически возможно, уровни срабатывания сигнализации, не вызывая при этом ложные срабатывания при их превышении.
 - Контрольные источники используются для проверки корректности работы измерительного прибора и сигнализации.

Мониторинг и дозиметрия – Дозиметрия



- Индивидуальный дозиметрический контроль (ИДК) работников необходим для отслеживания дозы, в целях оптимизации и официального ежегодного учета дозы
- Уровни активности ДЖПР в воздухе сильно варьируются в зависимости от рабочей зоны. Следующая схема классификации зон является примером, который может быть использован в качестве руководства по выявлению работников, для которых может быть рассмотрена необходимость применения ИДК.

Классификация зоны	Допустимая концентрация в воздухе (ДКВ)	ИДК
Неконтролируемая	< 0.1	Не требуется
Наблюдения	0.1 – 0.5	Значение дозы устанавливается у учетом результатов обследования рабочих зон и коэффициентов заполняемости или проведения выборочного ИДК для репрезентативных лиц.
Контролируемого доступа	0.5 – 1	Требуется более тщательный ИДК

Мониторинг и дозиметрия – Дозиметрия



- Урановая руда содержит все элементы цепочек распада ^{238}U и ^{235}U .
- Горные работы, в том числе бурение, взрывные работы, вывоз мусора и т. д. а также операции по перевалке руды перед подачей на мельницу могут генерировать пыль, содержащую нуклиды, которые в большинстве случаев близки к радиоактивному равновесию друг с другом.
- Коэффициент дозового перехода (мЗв/единица поступления) может быть оценен для рудной пыли, используя данные по:
 - распределению частиц пыли по размерам (стандартное допущение, активностный медианный аэродинамический диаметр (АМАД) равен 5 мкм);
 - химическая форма каждого радионуклида в пыли определяет степень абсорбции в легких, может применяться консервативный подход с использованием самого большого значения коэффициента дозового перехода.

- Технологические установки (заводы по переработке урана и установки ПСВ) производят урановый концентрат, обычно называемый "желтым кеком"
- Урановые концентраты могут иметь различный химический состав в зависимости от специфических особенностей химического состава осадков и термического воздействия
 - Изучение параметров растворимости (исследования по моделированию движения легочной жидкости) может потребоваться для определения содержания соответствующих веществ, если доза ДЖПР составляет значительную долю от предельно допустимого уровня воздействия
- Поэтому при выборе соответствующих пределов облучения (например, допустимая концентрация в воздухе (ДКВ)) необходимо учитывать какие конкретные соединения урана будут производиться

- Коэффициент дозового перехода (мЗв / единичное потребление) может быть оценен для различных соединений урана в технологической установке на основе следующего:
 - Распределение частиц пыли по размерам (стандартное допущение, принимаемое по умолчанию – АМАД 5 мкм);
 - Химическая форма каждого радионуклида в пыли определяет степень абсорбции в легких;
 - В отсутствие детальной информации по урановым соединениям, допустимо использование по умолчанию следующих значений

Мониторинг и дозиметрия – Дозиметрия

- Стандартная (номинальная) классификация урановых концентратов по типам ингаляции/абсорбции (по МКРЗ 68/71)

Соединения урана	Химическое название	Тип материала по растворимости
Триоксид урана	UO_3	Тип "M"
Оксид урана	U_3O_8	Тип "S"
Диоксид урана	UO_2	Тип "S"
Тетрооксид урана	UO_4	Тип "M"
Диуранат аммония (ADU)	$(NH_4)_2 + U_2O_7$	Тип "M"
Высокоуглеродистый диоксид урана	UO_2	Тип "S"
Рудная пыль	Различные минеральные соединения	Тип "S"

- Потенциальная возможность вдыхания ДЖПР оценивается главным образом путем измерения объемной активности в пробах воздуха.
- Доза оценивается путем сравнения измеренной объемной активности в воздухе с допустимой концентрацией в воздухе (ДКВ), которая при вдыхании в течение рабочего года (2000 часов) привела бы к дозе 20 мЗв.
- ДКВ выбирается на основе
 - средние значения дозовых коэффициентов для отдельных нуклидов в соединении (^{238}U , ^{234}U и ^{235}U) берутся как средневзвешенные по объемной активности нуклидов,
 - соответствующий (по растворимости) тип ингаляции F, M и S,
 - допущение о том, что AMAD составляет 5 мкм в отсутствие точной информации о размерах частиц.

Мониторинг и дозиметрия – Дозиметрия, пример



- Данные канадских предприятий по добыче и обогащению урана (пример CNSC) были использованы для представления данных по растворимости, а также совместно с моделями МКРЗ для разработки “стандартных” пределов годового поступления (ПГП) для различных соединений урана и АМАД равным 5 мкм, как представлено в таблице ниже.

Материал	ПГП по умолчанию (Бк суммарная альфа-активность)
Руда	4,500
Сушенный желтый кек	48,000
Кальцинированный желтый кек	3,100

- Химическая токсичность урана как тяжелого металла обычно считается более серьезной проблемой для здоровья человека, чем его радиологическая токсичность (для природного или низкообогащенного урана).
- Уран (и другие тяжелые металлы, такие как свинец, ртуть и кадмий) может нанести вред почкам в результате химического воздействия на проксимальные канальца.
 - Хотя не существует биомаркеров, характерных исключительно для радиационного воздействия урана, уровни глюкозы, лактатдегидрогеназы и альбумина в моче служат довольно распространенными индикаторами воздействия (часто по показателям креатинина).
- Поступление соединений природного урана типов адсорбции F и M всегда будет ограничиваться в связи с химической токсичностью. Поступление соединений типа S будут ограничиваться вследствие радиотоксичности.

Мониторинг и Дозиметрия – Биопробы



- Отбор и анализ биопроб может потребоваться ввиду базовых рисков, связанных с различными аспектами как радиологического, так и химического воздействия.
- Наиболее вероятными областями, где работники могут подвергнуться подобным воздействиям, являются зоны с высоким содержанием рудной пыли, участки размещения готового продукта; а также – в случае аварийных ситуаций.
- Программа отбора и анализа биопроб должна предусматривать:
 - Наличие исходных образцов для определения фоновых значений и выходных образцов для финального анализа;
 - Плановый отбор и анализ проб в целях
 - проверки корректности отбора проб воздуха и адекватности мер инженерно-технического контроля (особенно в зоне упаковки готового продукта)
 - осуществления пробоотбора, основанного на отборе проб воздуха, данных об условиях предоставления нарядов-допусков для выполнения радиационно-опасных работ для решения специальных и/или узкоспециализированных задач, или в случае возникновения аварийных ситуаций, при которых возможно ингаляционное поступление.
- Обычно необходим только анализ мочи

Ключевая информация



- Потенциальная опасность воздействия ДЖПР существует везде, где добывается, транспортируется, обрабатывается, хранится или перерабатывается рудный материал.
- Горняки сталкиваются с опасностью вдыхания от ДЖПР
 - при проведение буровых и взрывных работ, когда мелкие частицы могут попасть в воздух. Потенциальная опасность воздействия ДЖПР также существуют во всех местах, где рудный материал находится в непосредственной близости
 - Во время транспортировки и складирования руды.
- При обогащении и переработке, операторы имеют самый высокий риск воздействия ДЖПР
 - поскольку руда поступает на обогащение через дробильно-измельчительные установки
 - поскольку урановые концентраты высушиваются и упаковываются (также относится к ПСВ)
 - в местах просыпания.
- Особые обстоятельства могут привести к усилению воздействия
 - Операции по резке и абразивной обработке
 - Выпаренные твердые остатки
 - Нагрев или задымление (^{210}Po и ^{210}Pb)

Ключевая информация



- Вероятность ингаляции ДЖПР в первую очередь оценивается путем измерения объемной активности в пробах воздуха
- Контроль ДЖПР в воздухе осуществляется путем мониторинга рабочих зон с учетом времени нахождения на рабочем месте и/или с использованием методов ИДК
- Отбор и анализ биопроб (анализ мочи) может применяться для работников в зонах сушки и упаковки готового продукта и других работников, подвергающихся значительным дозовым нагрузкам относительно значений предельного допустимого уровня облучения
- При работе с готовым продуктом химическая токсичность урана обычно представляет большую опасность, чем радиотоксичность.

Контрольные вопросы



Q1: В каких рабочих зонах имеется наибольшая вероятность воздействия ДЖПР?

Q2: В каких случаях необходим ИДК?

Q3: Для каких работников наиболее вероятно будет предусматриваться отбор и анализ биопроб?

Ответы на контрольные вопросы



- А1: Наибольшая вероятность воздействия ДЖПР возникает при обработке или переработке руды, например при бурении, взрывных работах, очистке и дроблении, а также в зонах сушки и упаковки готового продукта.
- А2: Необходимо рассмотреть целесообразность применения методов ИДК в случае, если значение активности в воздухе может превысить уровень в 10% от допустимой концентрации.
- А3: Работники в зонах сушки и упаковки готового продукта, а так же при облучении в случае возникновения аварийных ситуаций.



IAEA

International Atomic Energy Agency
Atoms for Peace and Development

Спасибо!

