

DOI: 10.21870/0131-3878-2019-28-4-118-128

УДК 621.039.58

Инструментальные оценки накопленной дозы внешнего облучения методом ретроспективной люминесцентной дозиметрии по единичным микрокристаллам кварца: первые результаты международного исследования образцов – «свидетелей» ядерных испытаний (г. Семей, Республика Казахстан)

Степаненко В.Ф.¹, Каприн А.Д.², Иванов С.А.¹, Мулдагалиев Т.Ж.³, Колыженков Т.В.¹, Богачёва В.В.¹, Петухов А.Д.¹, Ахмедова У.А.¹, Липихина А.В.³, Джамбаев М.Т.³, Апсаликова З.С.³, Мансарина А.Е.³, Яськова Е.К.¹, Иванников А.И.¹, Скворцов В.Г.¹, Жумадилов К.Ш.⁴, Хоши М.⁵

¹ МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Обнинск;

² ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Москва;

³ НИИ радиационной медицины и экологии, Семей, Республика Казахстан;

⁴ Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилёва, Нур-Султан, Республика Казахстан;

⁵ Хиросимский Университет, Хиросима, Япония

Город Семей (ранее – Семипалатинск), Республика Казахстан, находился в пределах следов радиоактивных выпадений после нескольких ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне (СП), датированных 23.10.1954 г., 29.07.1955 г., 16.03.1956 г., 25.09.1962 г. и 15.01.1965 г. Поскольку г. Семей является крупнейшим населённым пунктом в ареале СП, то вполне понятен интерес к ретроспективным оценкам накопленных доз облучения населения в этом городе в результате ядерных испытаний на СП. Имеются существенные расхождения между результатами опубликованных в разные годы и разными авторами оценок накопленной дозы внешнего облучения в этом населённом пункте – от 4,3 до 890 мГр. В данной публикации представлены результаты оценки накопленной дозы внешнего облучения в г. Семей, полученные методом ретроспективной люминесцентной дозиметрии (РЛД) по кварцевым включениям в объекты окружающей среды. Впервые для инструментальных оценок накопленных доз внешнего облучения на территории вблизи СП был применён метод РЛД с использованием технологии оптической стимуляции радиационно-обусловленной люминесценции (ОСЛ) единичных микрокристаллов кварца, содержащихся в образцах кирпичей, отобранных из строения, являющегося «свидетелем» ядерных испытаний. Установлено, что на глубине 5,5 мм от внешней поверхности стены накопленная доза внешнего техногенного облучения равна 68 ± 11 мГр (после вычета фоновой дозы). Пересчёт к накопленной дозе в воздухе показывает, что величина накопленной дозы в воздухе вблизи места расположения строения равна 120 ± 21 мГр. Эта доза была расценена как результат облучения от радиоактивного следа (или наложений следов) от имевших место в прошлом ядерных испытаний на СП. Следует отметить, что полученные нами результаты ретроспективной дозиметрии не следует распространять на весь г. Семей в целом. Необходимо иметь в виду, что территория города достаточно большая, а ширина радиоактивных следов после ядерных испытаний может быть весьма ограниченной, так что в силу этих обстоятельств облучение могло быть весьма неравномерным и не затрагивать всю территорию города. Узость этих следов может быть одной из причин существенных расхождений между ранее опубликованными разными авторами оценками доз внешнего облучения для этого населённого пункта. Другие причины могут заключаться в различиях между методами, использованными для оценок доз. Исследования в этом направлении продолжают.

Ключевые слова: ядерные испытания, Семипалатинский полигон, ретроспективная люминесцентная дозиметрия, ОСЛ дозиметрия, инструментальная ретроспективная оценка накопленных доз, микрокристаллы кварца, природные накапливающие дозиметры, город Семей.

Степаненко В.Ф.* – зав. лаб., д.б.н., проф.; Иванов С.А. – директор, д.м.н., проф. РАН; Колыженков Т.В. – с.н.с., к.б.н.; Богачёва В.В. – м.н.с.; Петухов А.Д. – м.н.с.; Ахмедова У.А. – м.н.с.; Яськова Е.К. – в.н.с., к.б.н.; Иванников А.И. – в.н.с., к.ф.-м.н.; Скворцов В.Г. – в.н.с., к.б.н. МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. Каприн А.Д. – ген. директор, акад. РАН, д.м.н., проф. ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. Мулдагалиев Т.Ж. – директор, д.м.н.; Липихина А.В. – зав. лаб., к.м.н.; Джамбаев М.Т. – м.н.с.; Апсаликова З.С. – м.н.с.; Мансарина А.Е. – с.н.с., к.м.н. НИИ РМИЭ. Жумадилов К.С. – зав. кафедрой, PhD, проф. ЕНУ им. Л.Н. Гумилёва. Хоши М. – PhD, проф. Хиросимский Университет.

*Контакты: 249035, Калужская обл., Обнинск, ул. Королёва, 4. Тел.: (484) 399-70-02; e-mail: mrrc@mrrc.obninsk.ru.

Введение

Город Семей (ранее – Семипалатинск), Республика Казахстан, расположен на расстоянии около 150 км к востоку от территории Семипалатинского испытательного полигона. Этот город находился в пределах следов радиоактивных выпадений после нескольких ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне (СП), датируемых 23.10.1954 г., 29.07.1955 г., 16.03.1956 г., 25.09.1962 г. и 15.01.1965 г. [1-5].

Поскольку г. Семей является одним из крупных населённых пунктов в ареале вокруг СП, то вполне понятен интерес к ретроспективным оценкам накопленных доз облучения в этом городе в результате ядерных испытаний на СП. В то же время необходимо иметь в виду, что территория города достаточно большая, а ширина радиоактивных следов после ядерных испытаний может быть весьма ограниченной, так что в силу этих обстоятельств облучение могло быть весьма неравномерным и не затрагивать всю территорию города. Может быть, в том числе, и поэтому имеются существенные расхождения между результатами опубликованных в разные годы оценок накопленной дозы внешнего облучения в этом населённом пункте – от 4,3 до 890 мГр [2, 6, 7, 8-10]. К сожалению, точные координаты следов выпадений авторам неизвестны, что, по всей видимости, требует дальнейших исследований.

В публикуемой статье приведены первые результаты оценки локальной накопленной дозы внешнего облучения в г. Семей, полученные методом ретроспективной люминесцентной дозиметрии (РЛД) по кварцевым включениям в объекты окружающей среды с использованием технологии анализа единичных микрокристаллов.

Материалы и методы

Отбор кварцосодержащих образцов

Код образца – LocSemey 1-02. Расположение образца – внешняя часть стены кирпичного здания (здание бывшего военкомата, построено до 1954 г.). Расстояние от уровня земли до отобранного кирпича – 172 см. Данные GPS – 50°24'57.9"N, 80°15'27.5"E. Образец отобран для ретроспективной оценки накопленной дозы внешнего облучения возможного техногенного происхождения.

Код образца – LocSemey 1-04. Расположение образца – внутренняя хорошо экранированная часть здания. Расстояние от уровня земли до отобранного кирпича – 63 см. Образец находился под полом, с внутренней стороны фундамента здания толщиной 154 см. Образец отобран для ретроспективной оценки накопленной дозы облучения природного происхождения («фоновая» доза).

Значения мощностей поглощённой дозы (на дату пробоотбора) в точках отбора образцов как облучённого, так и фонового равны, в среднем, 12 ± 1 мкР/ч (при измерениях прибором ДРГ-01м1, со свидетельством поверки МАГАТЭ № 7893003), что соответствует типичным фоновым уровням и статистически от них не отличается. Это совершенно естественно, так как после испытаний прошло много лет, а формирование доз внешнего облучения завершается на более чем 90% за один год после испытания.

Метод РЛД

Базовая технология метода РЛД, а также методика пробоотбора кварцсодержащих образцов изложены ранее в публикациях [11, 12]. Метод РЛД основан на использовании измерений интенсивности радиационно-обусловленной люминесценции, которая стимулируется в извлечённых микрокристаллах кварца термическим (ТЛ дозиметрия) или оптическим (ОСЛ дозиметрия) способом. В данной работе использовали технологию оптической стимуляции радиационно-обусловленной люминесценции (ОСЛ) единичных микрокристаллов кварца, содержащихся в тонких слоях отобранных образцов кирпичей. Технология с использованием единичных микрокристаллов позволила исключить из анализа мешающие люминесцентные сигналы от иных микрочастиц, не обладающих дозиметрическими свойствами [13]. В результате удалось достичь предела детектирования 15 мГр по величине накопленной дозы, что лучше, чем чувствительность традиционных методов ОСЛ и ТЛ (20-25 мГр по величине накопленной дозы).

В целом такой подход является весьма трудоёмким и в данной статье мы приводим только первые результаты измерений кварцсодержащих образцов из г. Семей для инструментальной ретроспективной оценки накопленной дозы внешнего облучения. Исследования в этом направлении продолжаются.

Применён метод РЛД с использованием технологии оптической стимуляции радиационно-обусловленной люминесценции единичных микрокристаллов кварца, содержащихся в образцах кирпичей, описанный в работе [13]. Последовательность ОСЛ-измерений соответствует общему протоколу SAR (Single Aliquot Regenerative-dose protocol) [14]. Для удаления и размельчения тонких слоёв образца (около 0,3 мм) применялась боковая сторона низкоскоростной возвратно-поступательной пилы с алмазным покрытием. Поверхностный слой образца из внешней части стены строения на глубину до 3 мм не был включён в анализ – для того, чтобы исключить возможное влияние солнечного облучения на результаты дозиметрических измерений.

Основное оборудование, использованное для ОСЛ-измерений

Люминесцентный автоматический ридер: TL/OSL-DA-15 (RISØ, Дания) с блоком для измерений единичных микрокристаллов (DTU Nutech).

Стимуляция люминесценции: твёрдотельный лазер с диодной накачкой Nb:YVO₄ (длина волны излучения 532 нм) мощностью 10 мВт с лазерным пучком диаметром <20 мкм и системой высокоточного позиционирования для определения нахождения единичных микрочастиц, расположенных внутри отдельных отверстий на дисках (100 отверстий диаметром 0,3 мм на одном диске, всего 48 дисков на одну загрузку для автоматических измерений).

Регистрация люминесценции: фотоумножитель (ФЭУ) EMI 9235QA в режиме регистрации единичных фотонов, ФЭУ экранирован от стимулирующего излучения лазера 4-миллиметровым фильтром «Ноуа U-340» (пропускание излучения с длиной волны 280-370 нм – с максимумом около 300 нм).

Облучение для построения калибровочных дозовых зависимостей для каждого микрокристалла: ⁹⁰Sr/⁹⁰Y источник, встроенный в свинцовый домик (мощность дозы 6,71 мГр/с).

Результаты

На рис. 1 приведены результаты измерений фоновых накопленных доз (а) и суммарных накопленных доз (техногенная плюс фоновая дозы) (б). Из рис. 1а следует, что распределение фоновой накопленной дозы по глубине в кирпиче весьма равномерное (в пределах погрешностей измерений) и не имеет систематической тенденции изменения величины накопленной дозы с глубиной, что свидетельствует об отсутствии дополнительного (техногенного) облучения образца кирпича, отобранного из экранированной от внешнего облучения части строения. Накопленная доза фонового облучения состоит из трёх компонент – дозы от космического облучения, дозы от гамма-компоненты излучения естественных радионуклидов (ЕРН), присутствующих в окружающей среде и в материале кирпича, и дозы от бета-частиц, излучаемых ЕРН, присутствующих в материале кирпича [12]. Вклад в фоновую дозу от короткопробежных альфа-частиц, излучаемых присутствующими в материале кирпича ЕРН, пренебрежимо мал, так как применяемая технология ретроспективной дозиметрии по микрокристаллам кварца предусматривает травление их поверхности в кислоте HF, что «снимает» эффект облучения поверхности кристаллов от короткопробежных микрочастиц [12]. Установлено, что средняя по объёму кирпича величина фоновой накопленной дозы равна $80 \pm 3,1$ мГр. Оценка фоновой дозы является принципиально важной, так как позволяет определить наличие или отсутствие дополнительного (техногенного) облучения образца кирпича, отобранного из внешней (не экранированной) стены строения.

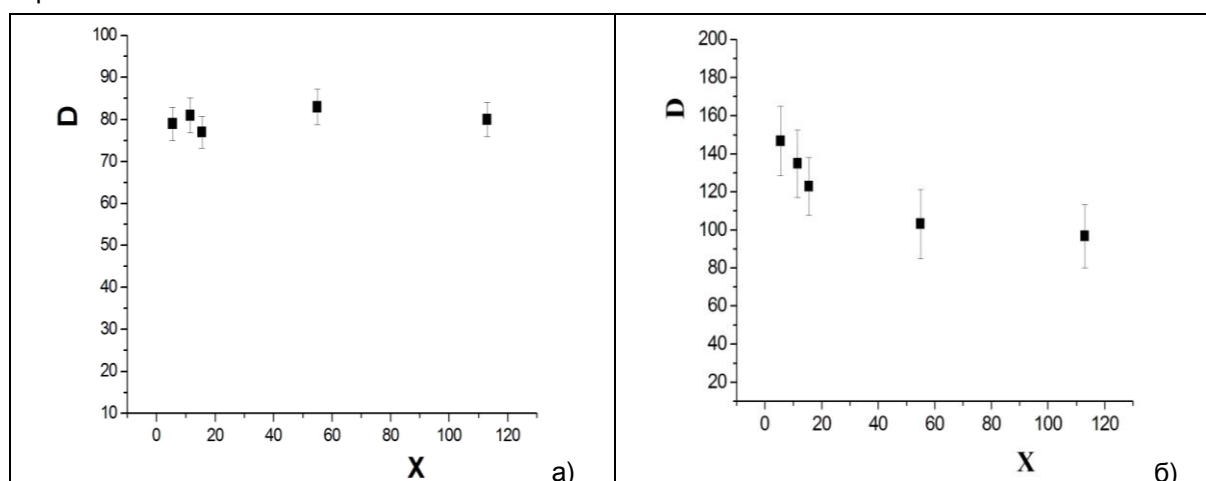


Рис. 1. Результаты измерений накопленных доз, определённых по микрокристаллическим кварцевым включениям на различных глубинах в образцах кирпичей, отобранных из здания бывшего военкомата (г. Семей).

D – накопленная (от момента отжига кирпича до момента измерения) поглощённая доза, мГр (а – фоновая доза, б – сумма техногенной и фоновой дозы). X – расстояние от внешней поверхности кирпича вглубь стены строения. Указанные погрешности соответствуют 2 SD.

Из рис. 1б следует, что имеет место отчётливо выраженный плавный спад величины суммарной накопленной дозы в зависимости от глубины нахождения микрокристаллов кварца в кирпиче – по направлению от поверхности внешней стены строения в её глубину. Указанная зависимость показывает, что, предположительно, данное здание было «свидетелем» прохождения радиоактивных следов в период проведения ядерных испытаний на СП. Для того, чтобы оценить величину этой дополнительной техногенной дозы необходимо из суммарных доз (рис. 1б) вычесть «фоновые» дозы (рис. 1а) для каждой из глубин нахождения измеряемых микрокристаллов кварца в стене строения. Соответствующие данные представлены на рис. 2.

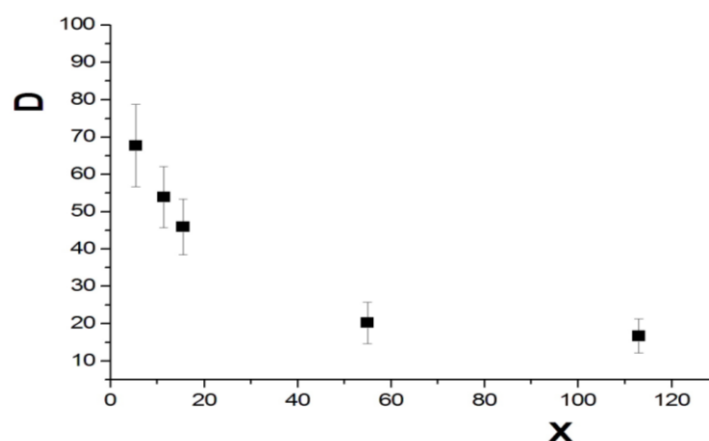


Рис. 2. Результаты измерений техногенной накопленной дозы, определённой по микрокристаллическим кварцевым включениям на различных глубинах в образце кирпича, отобранного из здания бывшего военкомата (г. Семей).

D – накопленная (от момента отжига кирпича до момента измерения) техногенная поглощённая доза, мГр.
X – расстояние от внешней поверхности кирпича вглубь внешней стороны стены строения, мм.
Указанные погрешности соответствуют 2 SD.

Из рис. 2 следует, что имеет место достоверный спад величины накопленной дозы. Установленный спад величины накопленной дозы обусловлен поглощением гамма-излучения от внешнего источника ионизирующего излучения материалом стены. Самый поверхностный слой кирпича толщиной 3 мм не был включён в анализ – для того, чтобы исключить возможное влияние солнечного облучения на результаты дозиметрических измерений [12]. Здесь ещё раз следует подчеркнуть, что указанная зависимость показывает, что данное здание, возможно, было «свидетелем» прохождения радиоактивных следов в период проведения ядерных испытаний на СП. Выявленная зависимость «накопленная техногенная доза – глубина по направлению от внешней поверхности стены вглубь неё» соответствует аналогичным зависимостям, полученным в ходе исследований методом РЛД в других населённых пунктах, расположенных в ареале СП [12]. Установлено, что на глубине 5,5 мм от внешней поверхности стены накопленная доза внешнего техногенного облучения равна 68 ± 11 мГр (после вычета фоновой дозы).

Обсуждение

Для практических заключений представляет интерес величина накопленной поглощённой дозы в воздухе вблизи места расположения обследованного здания. Для этого нами был проведён пересчёт от величины накопленной техногенной дозы на глубине в стене 5,5 мм к накопленной дозе в воздухе с использованием коэффициента пересчёта для референтной точки (на высоте 1 м над поверхностью почвы и на расстоянии 25 м от строения), опубликованного в работе [12] и относящегося к региону вокруг СП. Пересчёт показывает, что величина накопленной дозы в воздухе вблизи места расположения строения равна 120 ± 21 мГр. Эта доза была расценена как результат облучения от радиоактивного следа (или наложений следов) от имевших место в прошлом ядерных испытаний на СП. Действительно, согласно карте изолиний мощности дозы, опубликованной в работе [1], в направлении населённого пункта Семей имел место радиоактивный след после ядерного испытания 15.01.1965 г. (подземное испытание в мирных целях с выб-

росом грунта для образования искусственного водоема, глубина залегания заряда –178 м под поверхностью почвы, мощность взрыва – 40 кТ). Однако в работе [1] представлены только величины мощности дозы облучения в воздухе в виде широко распределённых на больших расстояниях дозовых изолиний, поэтому они могут быть рассмотрены только как ориентировочные.

Что касается полученных нами результатов, то особо (и это принципиально важно) следует отметить, что представленные нами данные инструментальной ретроспективной дозиметрии для кварцсодержащих образцов из г. Семей не следует распространять на весь город в целом. Необходимо иметь в виду, что территория города большая, а ширина радиоактивных следов после ядерных испытаний может быть весьма ограниченной [15, 16], так что в силу этих обстоятельств облучение могло быть весьма неравномерным (локальным) и не затрагивать всю территорию города. Узость этих следов может быть одной из причин существенных расхождений между ранее опубликованными разными авторами оценками доз внешнего облучения для этого населённого пункта, так как эти оценки могут быть усреднёнными по большой площади, или же относиться к разным местам отбора образцов для дозиметрического анализа. Другие причины могут заключаться в различиях между методами, использованными для оценок доз. Исследования в этом направлении продолжаются.

Выводы

1. Впервые для инструментальных оценок накопленных доз внешнего облучения на территории вблизи СП был применён метод РЛД с использованием технологии ОСЛ единичных микрокристаллов кварца, содержащихся в образцах кирпичей, отобранных из строения, являющегося «свидетелем» ядерных испытаний. Технология с использованием единичных микрокристаллов позволила исключить из анализа мешающие люминесцентные сигналы от иных микрочастиц, не обладающих дозиметрическими свойствами.

2. Выявлено достоверное уменьшение накопленной дозы в зависимости от глубины в образце по направлению от внешней поверхности стены строения вглубь неё, что показывает присутствие внешнего техногенного облучения, имевшего место в прошлом.

3. В образце, извлечённом из внутренней, хорошо экранированной части стены строения, такого рода зависимость не выявлена, что позволило провести оценку фоновой накопленной дозы за период от даты постройки здания до момента измерения. Величина фоновой накопленной дозы, усреднённой по всей толщине экранированного кирпича, равна $80 \pm 3,1$ мГр.

4. Установлено, что на глубине 5,5 мм от внешней поверхности стены накопленная доза внешнего техногенного облучения равна 68 ± 11 мГр (после вычета фоновой дозы).

5. Пересчёт от величины накопленной техногенной дозы на глубине в стене 5,5 мм к накопленной дозе в воздухе показывает, что величина накопленной дозы в воздухе вблизи места расположения строения равна 120 ± 21 мГр. Эта доза была расценена как результат облучения от радиоактивного следа (или наложений следов) от имевших место в прошлом ядерных испытаний на СП.

6. Полученные результаты инструментальной ретроспективной дозиметрии не следует распространять на весь г. Семей в целом. Необходимо иметь в виду, что территория города

достаточно большая, а ширина радиоактивных следов после ядерных испытаний может быть весьма ограниченной, так что в силу этих обстоятельств облучение могло быть весьма неравномерным (локальным) и не затрагивать всю территорию города. Узость этих следов может быть одной из причин существенных расхождений между ранее опубликованными разными авторами оценками доз внешнего облучения для этого населённого пункта. Другие причины могут заключаться в различиях между методами, использованными для оценок доз, что обуславливает необходимость дальнейших исследований.

Все авторы, согласно их заявлениям, не имеют конфликта интересов.

Это исследование было поддержано:

- Медицинским радиологическим научным центром им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Обнинск;

- Научно-исследовательским институтом радиационной медицины и экологии, Семей, Республика Казахстан;

- Евразийским национальным университетом им. Л.Н. Гумилёва, Нур-Султан, Республика Казахстан;

- Хиросимским университетом, Япония

в рамках соответствующих двусторонних рамочных соглашений об академическом сотрудничестве между указанными выше организациями.

Со стороны Республики Казахстан (Жумадилов К.Ш.) – часть этого исследования была поддержана грантами Министерства образования и науки Республики Казахстан (5284/GF4 соглашение № 47 и АР 05135470 № 132).

Со стороны Японии (соавторы из Японии) – часть этого исследования была поддержана грантами Министерства образования, науки, спорта и культуры Японии, гранты № 26257501 и № 24310044.

Часть этого исследования была поддержана грантом МРНЦ, полученным от ЕС, – грант № 323310 SEMI-NUC.

Литература

1. Ядерные испытания СССР. Семипалатинский полигон: обеспечение общей и радиационной безопасности ядерных испытаний /под ред. В.А. Логачева. М.: ФУ «Медбиоэкстрем», 1997. 319 с.
2. Ядерные испытания СССР: современное радиоэкологическое состояние полигонов /под ред. В.А. Логачева. М.: ИздАТ, 2002. 639 с.
3. Испытания ядерного оружия и ядерные взрывы в мирных целях СССР. 1949-1990 гг. /под ред. В.Н. Михайлова. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1996. 66 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://epizodsspace.no-ip.org/bibl/ispytania-yader-oruj/ispytania-yao-96.pdf> (дата обращения 19.05.2019).
4. **Bauer S., Gusev B., Belikhina T., Moldagaliev T., Apsalikov K.** The legacies of Soviet nuclear testing in Kazakhstan: fallout, public health and societal issues //Radioactiv. Environm. 2013. V. 19. P. 241-258. DOI: 10.1016/B978-0-08-045015-5.00014-9.
5. **Stepanov Yu.S., Bogdanenko N.A., Shinkarev S.M.** Assessment of possible doses to the residents of some settlements incurred by radiation fallout as a result of nuclear weapon testing at the Semipalatinsk polygon //Workshop on dosimetry of the population living in the proximity of the Semipalatinsk atomic weapons test site /Eds.: C. Lindholm, S. Simon, B. Makar, K. Baverstock. STUK-A187. Radiation and Nuclear Safety Authority. Helsinki, Finland, 2002. P. 28-39. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/123593/stuk-a187.pdf;sequence=1> (дата обращения 19.05.2019).
6. **Лоборев В.М., Шойхет Я.Н., Судаков В.В., Зеленов В.И., Габбасов В.Н.** Дозы облучения жителей городов Семипалатинск, Усть-Каменогорск, Курчатова и населённого пункта Чаган от ядерных взрывов, проведенных на Семипалатинском полигоне //Вестник научной программы «Семипалатинский полигон – Алтай». Барнаул, 1997. Т. 1. № 1. С. 51-64.
7. **Цыб А.Ф., Степаненко В.Ф., Питкевич В.А., Испенков Е.А., Севаньяев А.В., Орлов М.Ю., Дмитриев Н.В., Сарapultцев И.А., Жигарева Т.Л., Прокофьев О.Н., Обухова О.Л., Беловодский Л.Ф., Каримов В.М., Резонтов В.А., Матущенко А.М., Катков А.Е., Вялых В.Н., Смагулов С.Г., Мешков Н.А., Салеев А.А., Вильданов С.Е.** Вокруг Семипалатинского полигона: радиоэкологическая обстановка, дозы облучения населения в Семипалатинской области //Медицинская радиология. 1990. Т. 35, № 12. С. 3-11.
8. **Sholom S., Desrosiers M., Bouville A., Luckyanov N., Chumak V., Simon S.L.** EPR tooth dosimetry of SNTS area inhabitants //Radiat. Meas. 2007. V. 42, N 6. P. 1037-1040. DOI: 10.1016/j.radmeas.2007.05.007.
9. **Takada J., Hoshi M., Nagatomo T., Yamamoto M., Endo S., Takatsuji T., Yoshikawa I., Gusev B.I., Sakerbaev A.K., Tchajjunusova N.J.** External doses of residents near Semipalatinsk nuclear test site //J. Radiat. Res. 1999. V. 40, N 4. P. 337-344. DOI: 10.1269/jrr.40.337.
10. **Takada J., Hoshi M., Yamamoto M.** External doses in residential areas around Semipalatinsk nuclear test site //Workshop on dosimetry of the population living in the proximity of the Semipalatinsk atomic weapons test site /Eds.: C. Lindholm, S. Simon, B. Makar, K. Baverstock. STUK-A187. Radiation and Nuclear Safety Authority. Helsinki, Finland, 2002. P. 49-63. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/123593/stuk-a187.pdf;sequence=1> (дата обращения 19.05.2019).
11. **Bailiff I.K., Stepanenko V.F.** Retrospective dosimetry and dose reconstruction. International scientific collaboration on the consequences of the Chernobyl accident (1991-1995). ECP10. Brussels, Luxembourg: European Community, 1996. 115 p.
12. **Bailiff I.K., Stepanenko V.F., Göksu H.Y., Jungner H., Balmukhanov S.B., Balmukhanov T.S., Khamidova L.G., Kisilev V.I., Kolyado I.B., Kolizhenkov T.V., Shoikhet Y.N., Tsyb A.F.** The application of retrospective luminescence dosimetry in areas affected by fallout from the Semipalatinsk nuclear test site: an evaluation of potential //Health Phys. 2004. V. 87, N 6. P. 625-641. DOI: 10.1097/01.hp.0000137178.36835.79.
13. **Stepanenko V., Ivannikov A., Skvortsov V., Tsyb A., Zhumadilov K., Hoshi M.** The experience of individual dose reconstruction after uncontrolled large-scale irradiation of population //IPSHU English Research Report Series. 2012. V. 28. P. 132-143. DOI: 10.15027/33637.

14. **Murray A.S., Wintle A.G.** Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol // *Radiat. Meas.* 2000. V. 32, N 1. P. 57-73. DOI: 10.1016/S1350-4487(99)00253-X.
15. **Stepanenko V.F., Hoshi M., Bailiff I.K., Ivannikov A.I., Toyoda S., Yamamoto M., Simon S.L., Matsuo M., Kawano N., Zhumadilov Zh., Sasaki M., Rosenson R.I., Apsalikov K.N.** Around Semipalatinsk nuclear test site: progress of dose estimations relevant to the consequences of nuclear tests (a summary of 3rd Dosimetry Workshop on the Semipalatinsk nuclear test site area, RIRBM, Hiroshima University, Hiroshima, 9-11 of March, 2005) // *J. Radiat. Res.* 2006. V. 47, Suppl. A. P. A1-A13. DOI: 10.1269/jrr.47.a1.
16. **Stepanenko V.F., Hoshi M., Dubasov Yu.V., Sakaguchi A., Yamamoto M., Orlov M.Y., Bailiff I.K., Ivannikov A.I., Skvortsov V.G., Iaskova E.K., Kryukova I.G., Zhumadilov K.S., Endo S., Tanaka K., Apsalikov K.N., Gusev B.I.** A gradient of radioactive contamination in Dolon village near the SNTS and comparison of computed dose values with instrumental estimates for the 29 August, 1949 Nuclear Test // *J. Radiat. Res.* 2006. V. 47, Suppl. A. P. A149-A158. DOI: 10.1269/jrr.47.A149.

Instrumental estimates of accumulated external dose using method of single grain retrospective luminescence dosimetry with quartz microcrystals: first results of international study for samples – “witness” of nuclear tests (Semey city, Republic of Kazakhstan)

Stepanenko V.F.¹, Kaprin A.D.², Ivanov S.A.¹, Muldagaliev T.Zh.³, Kolyzhenkov T.V.¹, Bogacheva V.V.¹, Petukhov A.D.¹, Akhmedova U.A.¹, Lipikhina A.V.³, Jambaev M.T.³, Apsalikova Z.S.³, Mansarina A.E.³, Iaskova E.K.¹, Ivannikov A.I.¹, Skvortsov V.G.¹, Zhumadilov K.Sh.⁴, Hoshi M.⁵

¹ A. Tsyb MRRC, Obninsk;

² NMRRRC, Moscow;

³ Scientific Research Institute of Radiation Medicine and Ecology, Semey, Kazakhstan;

⁴ L. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan;

⁵ Hiroshima University, Hiroshima, Japan

Semey city (former Semipalatinsk city), Republic of Kazakhstan, is the largest settlement, located in the vicinity of Semipalatinsk nuclear test site (SNTS) and on the traces of several nuclear tests dated by 23.10.1954, 29.07.1955, 16.03.1956, 25.09.1962 and 15.01.1965. There are very essential discrepancies (more than order of value) between different published external accumulated dose estimations related to Semey city. In this paper retrospective instrumental external accumulated dose estimates were performed with aim to clarify these discrepancies. The results are presented in this paper. The first results of application of retrospective luminescence method (RLD) using single grain technique for instrumental estimation of external accumulated radiation dose in the Semey city, Republic of Kazakhstan, are presented in this paper on the base of quartz containing samples - bricks, which are were “witness” of the nuclear tests” in SNTS. The sampled bricks were located at 50°24'57.9"N, 80°15'27.5"E in Semey city. One sample was sampled from external wall of the building (height of sampling place is 172 cm above the ground level), and second sample was sampled from the very good shielded internal part of the wall (in order to measure the “background” level of accumulated dose). The RLD method with optical stimulated luminescence (OSL) and single quartz grains technique was used for instrumental estimation of external accumulated radiation dose. First external slice with 3 mm thickness was excluded from the analysis in order to avoid possible influence of solar irradiation. Each extracted grain was separately calibrated for accumulated dose estimation. The application of single grain technique was performed in order to separate dosimetrical signal of each quartz grain from non dosimetrical (interfered) signals from other grains, which were impossible chemically and mechanically remove from the analyzed aliquots. The obtained results are the following: a) Very good expressed decrease of accumulated dose VS distance from the exterior wall was found (after subtraction of background dose). It was assumed that there was the presence of external exposure in this location. b) The estimated accumulated dose of

Stepanenko V.F.* – Head of Lab., D. Sc., Biol., Prof.; **Ivanov S.A.** – Director, MD, Prof. of RAS; **Kolyzhenkov T.V.** – Senior Researcher, C. Sc., Biol.; **Bogacheva V.V.** – Researcher; **Petukhov A.D.** – Researcher; **Akhmedova U.A.** – Researcher; **Iaskova E.K.** – Lead. Researcher, C. Sc., Biol.; **Ivannikov A.I.** – Lead. Researcher, C. Sc., Phys.-Math.; **Skvortsov V.G.** – Lead. Researcher, C. Sc., Biol. A. Tsyb MRRC. **Kaprin A.D.** – Director General, Academician of RAS, MD, Prof. NMRRC. **Muldagaliev T.Zh.** – Director, MD; **Lipikhina A.V.** – Head of Lab., C. Sc., Med.; **Jambaev M.T.** – Researcher; **Apsalikova Z.S.** – Researcher; **Mansarina A.E.** – Senior Researcher, C. Sc., Med. SRI RME. **Zhumadilov K.Sh.** – Head of Dept., PhD, Prof. L. Gumilyov ENU of the RK. **Hoshi M.** – PhD, Prof. Hiroshima University.

*Contacts: 4 Korolev Str., Obninsk, Kaluga region, 249035, Russia. Tel.: +7 (484) 399-70-02; e-mail: mrrc@mrrc.obninsk.ru.

external irradiation related to 5.5 mm depth in the brick at the location of sampling is equal to 68 ± 11 mGy (after subtraction of background accumulated dose). As a result, accumulated dose of external dose in free air (recalculated from the dose in 5.5 mm depth in the brick) is equal to 120 ± 21 mGy at the location of sampling. c) Note: these dose estimates are related only to the place of brick's sampling and cannot be extended to all Semey city, as far as radioactive traces, possible, were narrow and did not cover of entire city. Maybe narrow traces of radioactive fallout are the reason of large differences between the different previously published estimated doses of external exposure in the city of Semey (as it was, for example, in a case of Dolon village, which is located near the SNTS). Further investigations are in process.

Key words: nuclear tests, Semipalatinsk nuclear test site, retrospective luminescence dosimetry, OSL dosimetry, instrumental retrospective estimation of accumulated doses, quartz microcrystals, natural accumulative dosimeters, Semey city.

References

1. *Nuclear tests in USSR*. Semipalatinsk polygon: providing of general and radiation safety of nuclear tests. Ed.: V.A. Logachev. Moscow, "Medbioextrem", 1997. 319 p. (In Russian).
2. *Nuclear tests in USSR: modern radiation conditions of polygons*. Ed.: V.A. Logachev. Moscow, Izdat, 2002. 639 p. (In Russian).
3. *Nuclear weapons tests and peaceful nuclear explosions in the USSR. 1949-1990*. Ed.: V.N. Mihaylov. Sarov, RFYaTs-VNIIEF, 1996. 66 p. Available at: <http://epizodsspace.no-ip.org/bibl/ispytania-yader-oruj/ispytania-yao-96.pdf> (Accessed 19.05.2019). (In Russian).
4. **Bauer S., Gusev B., Belikhina T., Moldagaliev T., Apsalikov K.** The legacies of Soviet nuclear testing in Kazakhstan: fallout, public health and societal issues. *Radioactiv. Environm.*, 2013, vol. 19, pp. 241-258. DOI: 10.1016/B978-0-08-045015-5.00014-9.
5. **Stepanov Yu.S., Bogdanenko N.A., Shinkarev S.M.** Assessment of possible doses to the residents of some settlements incurred by radiation fallout as a result of nuclear weapon testing at the Semipalatinsk polygon. Workshop on dosimetry of the population living in the proximity of the Semipalatinsk atomic weapons test site. Eds.: C. Lindholm, S. Simon, B. Makar, K. Baverstock. STUK-A187. Radiation and Nuclear Safety Authority. Helsinki, Finland, 2002, pp. 28-39. Available at: <http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/123593/stuk-a187.pdf;sequence=1> (Accessed 19.05. 2019).
6. **Loborev V.M., Shoikhet Ya.N., Sudakov V.V., Zelenov V.I., Gabbasov V.N.** Doses of irradiation among residents of the cities of Semipalatinsk, Ust-Kamenogorsk, Kurchatov and the settlement of Chagan as a result of nuclear tests at the Semipalatinsk test site. *Vestnik nauchnoy programmy "Semipalatinskiy poligon – Altay" – Bulletin of the Research Programme "Semipalatinsk Test Site – Altay"*, Barnaul, 1997, vol. 1, no. 1, pp. 51-64. (In Russian).
7. **Tsyb A.F., Stepanenko V.F., Pitkevich V.A., Ispenkov E.A., Sevankaev A.V., Orlov M.Yu., Dmitriev N.V., Sarapultsev I.A., Zhigareva T.L., Prokofiev O.N., Obukhova O.L., Belovodskiy L.F., Karimov V.M., Rezontov V.A., Matuschenko A.M., Katkov A.E., Vyalikh V.N., Smagulov S.G., Meshkov N.A., Saleev A.A., Vildanov S.E.** Around the Semipalatinsk Nuclear Test Site: the radiological situation, radiation exposure of the population in Semipalatinsk oblast. *Meditinskaya radiologiya – Medical Radiology*, vol. 35, no. 12, pp. 3-11. (In Russian).
8. **Sholom S., Desrosiers M., Bouville A., Luckyanov N., Chumak V., Simon S.L.** EPR tooth dosimetry of SNTS area inhabitants. *Radiat. Meas.*, 2007, vol. 42, no. 6, pp. 1037-1040. DOI: 10.1016/j.radmeas.2007.05.007.
9. **Takada J., Hoshi M., Nagatomo T., Yamamoto M., Endo S., Takatsuji T., Yoshikawa I., Gusev B.I., Sakerbaev A.K., Tchajunusova N.J.** External doses of residents near Semipalatinsk nuclear test site. *J. Radiat. Res.*, 1999, vol. 40, no. 4, pp. 337-344. DOI: 10.1269/jrr.40.337.

10. **Takada J., Hoshi M., Yamamoto M.** External doses in residential areas around Semipalatinsk nuclear test. Workshop on dosimetry of the population living in the proximity of the Semipalatinsk atomic weapons test site. Eds.: C. Lindholm, S. Simon, B. Makar, K. Baverstock. STUK-A187. Radiation and Nuclear Safety Authority. Helsinki, Finland, 2002, pp. 49-63. Available at: <http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/123593/stuk-a187.pdf;sequence=1> (Accessed 19.05. 2019).
11. **Bailiff I.K., Stepanenko V.F.** Retrospective dosimetry and dose reconstruction. International scientific collaboration on the consequences of the Chernobyl accident (1991-1995). ECP10. Brussels, Luxembourg, European Community, 1996. 115 p.
12. **Bailiff I.K., Stepanenko V.F., Göksu H.Y., Jungner H., Balmukhanov S.B., Balmukhanov T.S., Khamidova L.G., Kisilev V.I., Kolyado I.B., Kolizshenkov T.V., Shoikhet Y.N., Tsyb A.F.** The application of retrospective luminescence dosimetry in areas affected by fallout from the Semipalatinsk nuclear test site: an evaluation of potential. *Health Phys.*, 2004, vol. 87, no. 6, pp. 625-641. DOI: 10.1097/01.hp.0000137178.36835.79.
13. **Stepanenko V., Ivannikov A., Skvortsov V., Tsyb A., Zhumadilov K., Hoshi M.** The experience of individual dose reconstruction after uncontrolled large-scale irradiation of population. *IPSHU English Research Report Series*, 2012, vol. 28, pp. 132-143. DOI: 10.15027/33637.
14. **Murray A.S., Wintle A.G.** Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiat. Meas.*, 2000, vol. 32, no. 1, pp. 57-73. DOI: 10.1016/S1350-4487(99)00253-X.
15. **Stepanenko V.F., Hoshi M., Bailiff I.K., Ivannikov A.I., Toyoda S., Yamamoto M., Simon S.L., Matsuo M., Kawano N., Zhumadilov Zh., Sasaki M., Rosenson R.I., Apsalikov K.N.** Around Semipalatinsk nuclear test site: progress of dose estimations relevant to the consequences of nuclear tests (a summary of 3rd Dosimetry Workshop on the Semipalatinsk nuclear test site area, RIRBM, Hiroshima University, Hiroshima, 9-11 of March, 2005). *J. Radiat. Res.*, 2006, vol. 47, Suppl. A, pp. A1-A13. DOI: 10.1269/jrr.47.a1.
16. **Stepanenko V.F., Hoshi M., Dubasov Yu.V., Sakaguchi A., Yamamoto M., Orlov M.Y., Bailiff I.K., Ivannikov A.I., Skvortsov V.G., Iaskova E.K., Kryukova I.G., Zhumadilov K.S., Endo S., Tanaka K., Apsalikov K.N., Gusev B.I.** A gradient of radioactive contamination in Dolon village near the SNTS and comparison of computed dose values with instrumental estimates for the 29 August, 1949 Nuclear Test. *J. Radiat. Res.*, 2006, vol. 47, Suppl. A, pp. A149-A158. DOI: 10.1269/jrr.47.A149.