

## **«Природная радиационная аномалия на территории Усть-Ангарского уранового месторождения»**

Григорьев А.И.<sup>1</sup>, Чечёткин В.А.<sup>1</sup>, Ревяко Ю.С.<sup>2</sup>, Коваленко В.В.<sup>3</sup>, Собянина Е.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ООО «ГЕОЛА», <sup>2</sup>ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае»,

<sup>3</sup>ФГУП «Госцентр «Природа»

**Введение.** Исследования радиационной аномалии на территории заброшенного Усть-Ангарского уранового месторождения проводились в 2006-2008 гг. усилиями трёх организаций: ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае», ФГУП «Госцентр «Природа», ООО «ГЕОЛА». Инициатива и финансирование исследований, как и дальнейших реабилитационных работ, принадлежат Министерству природных ресурсов и лесного комплекса Красноярского края.

Рудные отвалы практически любого уранового месторождения относятся к классу производственных отходов с повышенным содержанием природных радионуклидов (ЕРН). Обращение с ними (сбор, хранение, транспортировка и захоронение) должно осуществляться с определенными ограничениями, обеспечивающими радиационную безопасность населения и среды обитания людей. При этом радиационная безопасность населения (после проведения реабилитационных работ) оценивается по значению годовой эффективной дозы дополнительного облучения критической группы населения, которая не должна превышать 100 мкЗв/год [1].

Цель исследований заключалась в проведении комплексного радиационно-гигиенического обследования условий проживания населения в пос. Усть-Ангарск, оценке потенциальной опасности рудных отвалов месторождения и, при необходимости, подготовке нормативно-обоснованных предложений, направленных на ограничение облучения населения поселков Усть-Ангарск и Стрелка.

**Общие сведения об Усть-Ангарске.** Посёлок Усть-Ангарск возник на месте бывшего поселения вольнонаёмных работников, которые в сороковых-пятидесятых годах прошлого столетия занимались разведкой и добычей урановой руды Усть-Ангарского месторождения. В то время отсутствовали санитарные правила, регламентирующие выбор участков для жилищного строительства. В результате жилая зона посёлка оказалась размещённой на рудном поле уранового месторождения в окружении подземных горных выработок и отвалов, состоящих из пород, вмещающих рудные тела, с многочисленными обломками урановой руды. Этим объясняется повышенная потенциальная радиационная опасность условий проживания в пос. Усть-Ангарск.

После прекращения добычи урана в конце пятидесятых годов горные выработки – две шахты и несколько штолен – и отвалы были заброшены без выполнения работ по их консервации, очистке и рекультивации. В посёлке стали проживать работники предприятий, занимающихся заготовкой леса. О горных выработках и отвалах уранового месторождения власти надолго забыли. В 2001...2004 гг. специалисты ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае» при изучении и контроле радиационной обстановки на берегах Енисея в пределах зоны наблюдения ФГУП «Горно-химический комбинат» обнаружили заброшенные объекты горных работ и установили их повышенную опасность для местного населения. Эта опасность заключается в возможности падения в оставшиеся открытыми шахты, попадания под завалы породы в открытых штольнях и получения повышенных уровней облучения за счёт урана и продуктов его распада, содержащихся в отвальных породах.

Уже на начальном этапе сбора, обобщения и анализа ранее полученной информации по объекту работы мы столкнулись с определенными трудностями. Выяснилось, что часть отчетных фондовых материалов по разведке и очистным работам на месторождении, относящихся к 1947...1953 гг., безвозвратно утеряна при реорганизации подразделений бывшего Енисейстроя МВД СССР, выполнявших эти работы. Так, оказались недоступны сведения о местах расположения горных выработок, том числе шахтных стволов и

глубоких шурфов на территории жилой зоны пос. Усть-Ангарск, сведения об объемах горнопроходческих работ и др. В результате только при проведении исследований были обнаружены ранее неизвестные участки отвальных пород, поросшие лесом и травяной растительностью, обладающие высокой радиоактивностью. Эти участки располагаются как в пределах береговой полосы Ангары, так и на территории и в окрестностях поселка, где местные жители собирают дикорастущие ягоды и грибы.

В качестве примера можно назвать участок площадью около 1,0 га, расположенный перед магазином в пос. Усть-Ангарск и поэтому наиболее часто посещаемый местными жителями. Он представляет собой выровненный рудный отвал одного из шахтных стволов, в пределах которого мощность дозы достигает сотен мкР/ч, что в десятки раз превышает допустимый для селитебных территорий уровень гамма-фона.

Кроме того, в процессе работы на берегу Ангары, дополнительно к хорошо известному отвалу на участке «Согренский», расположенному вблизи к устьям штолен в скальном береговом уступе, ниже по течению реки был обнаружен участок отвальных пород шахтного ствола «Клин». Эти участки находятся в непосредственной близости к причалу речного трамвая и поэтому постоянно посещаются местными жителями. Мощность дозы (МД) внешнего гамма-излучения горных пород в пределах этих отвалов достигает сотен мкР/ч.

**Радиационные характеристики отвалов.** В первую очередь были исследованы рудные отвалы двух участков добычи: «Согренский» и «Клин». На них были проведены инструментальные измерения, включающие топографо-геодезические работы, измерения мощности дозы (МД) внешнего гамма-излучения и объемной активности (ОА) радона в атмосферном воздухе, а также экспонированы накопительные камеры с активированным углем для определения плотности потока радона (ППР), отобраны пробы почво-грунтов.

Радиационная обстановка в районе Усть-Ангарского месторождения в целом характеризуется крайне низкими значениями гамма-фона и показателями удельной активности (УА) ЕРН в объектах окружающей среды: горных породах, почво-грунтах и др. Так, например, МД гамма-излучения доломитизированных известняков, вмещающих ураноносные породы, за пределами рудного поля не превышает 5...7 мкР/ч, гамма-фон на высоте 1,0 м равен 5...6 мкР/ч, а эффективная удельная активность ( $A_{эфф}$ ) ЕРН в известняках не превышает 55...60 Бк/кг [2]. Несколько повышенные значения  $A_{эфф}$  (110...135 Бк/кг) присущи почво-грунтам в пределах задернованных участков местности, покрытых лесом.

На этом фоне рудные отвалы выделялись аномально высокими значениями всех радиационных показателей. Граница отвала Согренского участка, например, отчетливо фиксируется по МД гамма-излучения, равной 10...12 мкР/ч и более. При этом около 70...80 % площади отвала занимают породы, обладающие МД гамма-излучения более 30 мкР/ч.. Распределения значений МД гамма-излучения на отвалах показаны на рисунках 1 и 2. МД гамма-излучения на поверхности Согренского отвала в пределах аномального поля составляет в среднем  $140 \pm 37$  мкР/ч ( $1,28 \pm 0,30$  мкЗв/ч), а гамма-фон (после удаления основной массы высокорadioактивных обломков с поверхности отвала) на высоте 1,0 м –  $53 \pm 14$  мкР/ч ( $0,47 \pm 0,12$  мкЗв/ч). В таблице (ниже) приведены параметры радиационной обстановки, измеренные на двух отвалах в первые месяцы исследований.

Таблица 1 – Результаты исследований на отвалах

Место измерения	МД, мкЗв/ч		ППР, мБк/(м <sup>2</sup> ·с)	ОА, Бк/м <sup>3</sup>
	на поверхности	на высоте 1 м		
Согренский	$1,28 \pm 0,30$	$0,47 \pm 0,12$	$834 \pm 68$	$227 \pm 54$
Клин	$0,82 \pm 0,20$	$0,28 \pm 0,10$	$120 \pm 18$	–

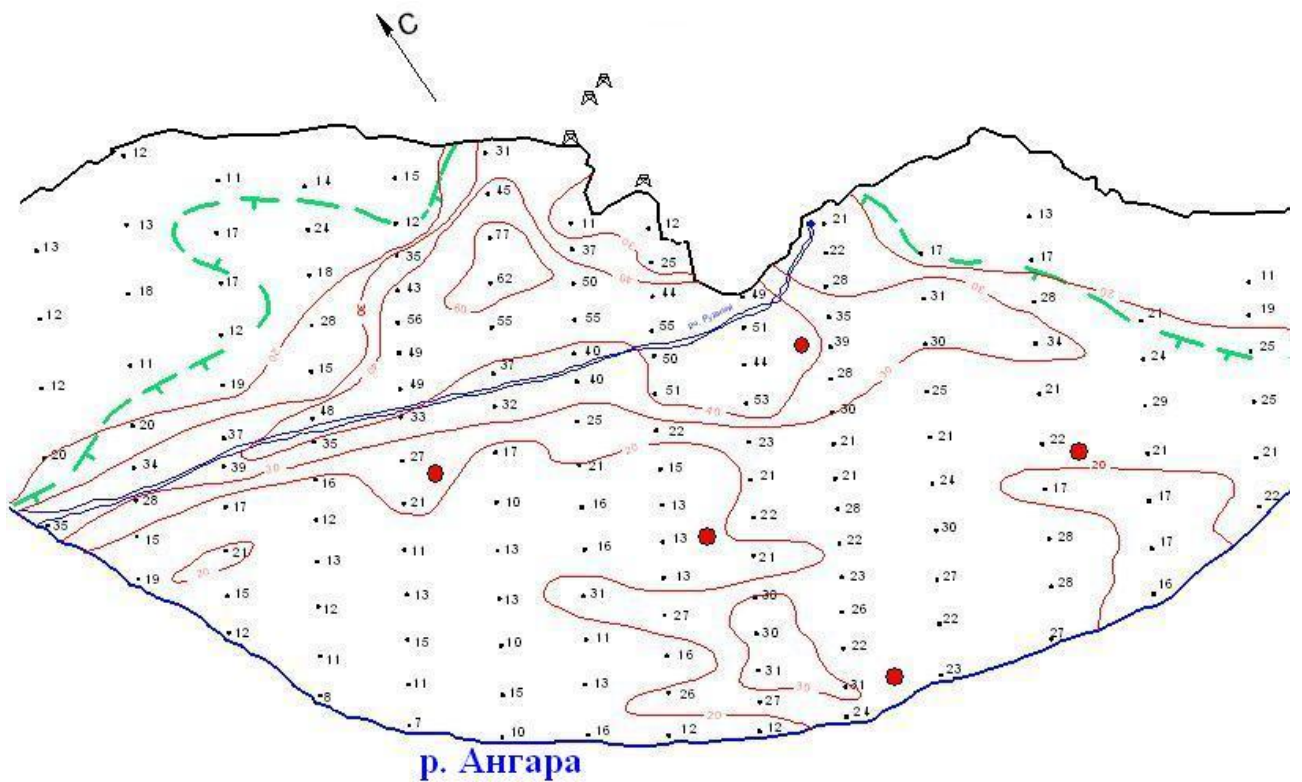


Рисунок 1 – Результаты измерения МД (на высоте 1 м) и места установки накопительных камер (красные кружки) для измерения ППР на рудном отвале участка «Согренский»

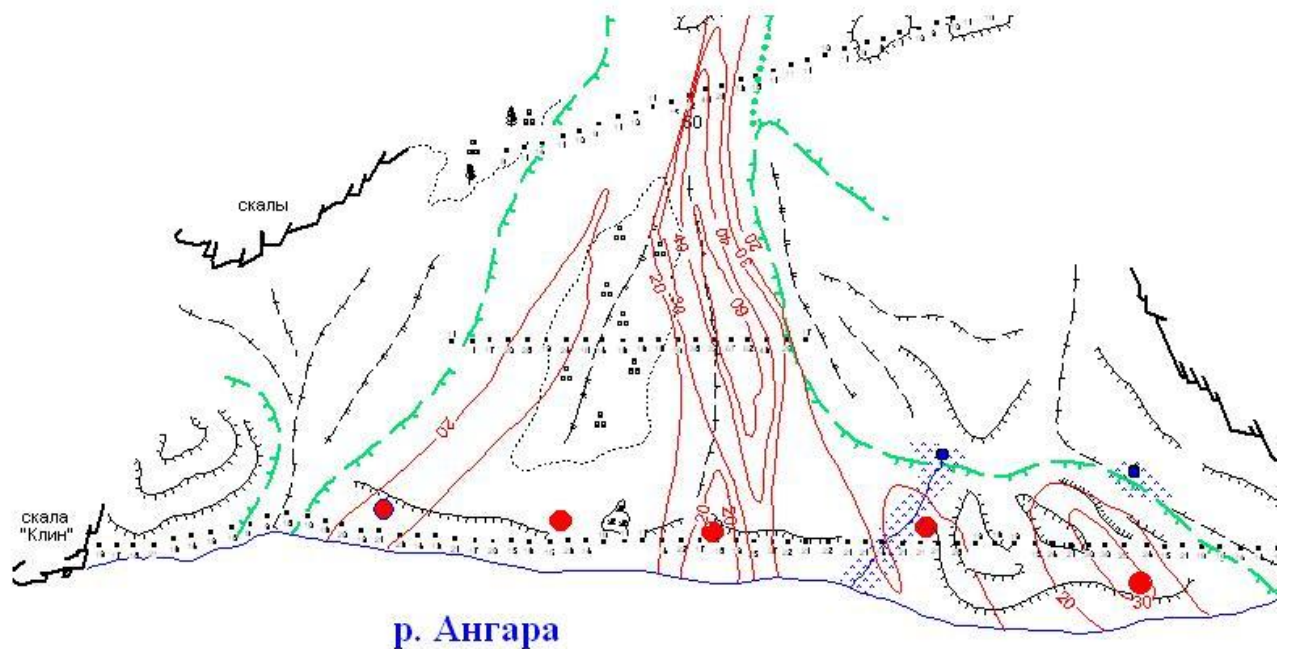


Рисунок 2 – Результаты измерения МД (на высоте 1 м) и места установки накопительных камер (красные кружки) для измерения ППР на рудном отвале участка «Клин»

**Радиационные измерения вблизи устьев шахт.** Была проведена площадная гамма-съёмка участков, прилегающих к заброшенным шахтным стволам. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты площадной гамма-съёмки вокруг устьев шахт

№ шахты	Место измерения	МД, мкЗв/ч (мкР/ч)		Аномальное значение МД, мкЗв/ч
		минимум	максимум	
1	на земле	0,10 (7)	0,40 (52)	10,45 ± 0,39
	на высоте 1 м	0,06 (6)	0,26 (30)	1,30 ± 0,10
2	на земле	0,10 (11)	2,46 (279)	8,32 ± 0,20
	на высоте 1 м	0,05 (5)	1,15 (130)	3,17 ± 0,15

Как видно из полученных значений, территория вокруг заброшенных шахт, наряду с территориями рудных отвалов является радиационно-опасной территорией, нахождение в пределах которой приводит к дополнительному облучению. Здесь выявлены площадные аномалии с гамма-фоном, превышающим 0,30 мкЗв/ч, причём, в центре одной из аномалий значение МД, измеренной на высоте 1 м, достигает 3,17 мкЗв/ч.

ОА радона, измеренная вблизи шахтного ствола (шахта № 2), составила от  $63 \pm 17$  до  $3910 \pm 800$  Бк/м<sup>3</sup> при фоновых значениях для района равных 6...10 Бк/м<sup>3</sup>. Такие значения ОА обусловлены повышенной ППР, величина которой, измеренная вблизи этой же шахты составила от  $153 \pm 32$  до  $376 \pm 58$  мБк/(м<sup>2</sup>·с) при фоне – 40...55 мБк/(м<sup>2</sup>·с).

Следует указать еще на одно обстоятельство – ОА радона в атмосферном воздухе, измеренная в пяти точках на высоте 1,0 м вблизи устья одной из штолен, расположенной у кровли отвала, составляет в среднем  $1364 \pm 104$  Бк/м<sup>3</sup> при диапазоне варьирования от 1088 до 1412 Бк/м<sup>3</sup>. Судя по внешним признакам, это место являлось одним из наиболее посещаемых мест отдыха местных жителей, прежде всего, молодежи.

**Расчёт дополнительной дозы облучения критической группы.** Полученные результаты позволили рассчитать дополнительную дозу, получаемую критической группой населения (в основном, подростками) в летнее время.

Годовая эффективная доза внешнего облучения рассчитывалась по формуле

$$D_{внеш} = 10^{-3} \cdot P \cdot t, \quad \text{мЗв/год}$$

где  $P$  – мощность дозы внешнего гамма-излучения на высоте 1,0 м от поверхности рудного отвала (гамма-фон), мкЗв/час;

$t$  – время нахождения людей в зоне влияния отвалов в течение года, час;

$10^{-3}$  – коэффициент перехода от мкЗв к мЗв.

Доза внутреннего облучения за счет вдыхания короткоживущих ДПР радона рассчитывалась по следующей формуле, приведённой в МУ [3],

$$D_{Rn} = 10^{-6} \cdot 9,0 \cdot C_{Rn} \cdot t, \quad \text{мЗв.год}$$

где  $C_{Rn}$  – среднее значение ЭРОА радона, Бк/м<sup>3</sup>.

По результатам анкетирования среднее время нахождения подростков в зоне влияния отвалов за летний период было принято – 176 час.

Среднее значение МД внешнего гамма-излучения на высоте 1,0 м от поверхности рудного отвала (гамма-фон) было принято –  $0,47 \pm 0,12$  мкЗв/ч ( $53 \pm 0,14$  мкР/час);

Среднее значение эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона на открытой местности в зоне влияния отвала –  $227 \pm 54$  Бк/м<sup>3</sup>. При расчёте принято значение  $227 + 54 = 281$  Бк/м<sup>3</sup>, равное максимальному значению, соответствующему 95 % доверительной вероятности.

С учётом этих показателей радиационной обстановки полная годовая доза, обусловленная ЕРН, содержащимися в породах отвала, составила:

$$D = (10^{-3} \times 0,47 \times 176) + (10^{-6} \times 9,0 \times 281 \times 176) = \mathbf{0,53} \text{ мЗв/год.}$$

Таким образом, доза дополнительного облучения контрольной группы населения, обусловленная природными радионуклидами рудных отвалов Усть-Ангарского месторо-

ждения урана, составила 0,53 мЗв/год. Эта доза более чем в пять раз превышает допустимый уровень, равный 0,1 мЗв/год.

**Комплексная радиационно-гигиеническая оценка условий проживания населения.** Прежде чем планировать и проводить мероприятия по снижению дополнительного облучения населения, необходимо было провести комплексное радиационно-гигиеническое обследование условий проживания населения в пос. Усть-Ангарск, непосредственно в жилой зоне, так как расположение жилой зоны посёлка на предполагаемом рудном поле месторождения вполне могло привести к ухудшению радиационных параметров.

Для оценки современной радиационной обстановки в посёлке Усть-Ангарск была проведена площадная гамма-съёмка (измерения мощности дозы (МД) внешнего гамма-излучения) территории посёлка и прилегающих территорий общей площадью 40 га;

Измерения МД внешнего гамма-излучения также производились на приусадебных участках 22 жилых домов и одного административного здания. Учитывая то, что в посёлке имеется только 30 заселённых жилых домов и одно эксплуатируемое общественное здание, охват дворов измерениями составлял 74%.

МД гамма-излучения на поверхности земли и на высоте 1 м на всей территории посёлка никогда не превышала  $0,12 \pm 0,01$  мкЗв/час и, таким образом, не отличается от фоновых значений, характерных для Красноярского края в целом (0,10 мкЗв/ч).

Диапазон варьирования МД на 22 приусадебных участках составляет от 0,06 до 0,10 мкЗв/ч, то есть уровень гамма-фона на них не отличается от фоновых значений, характерных для территории края.

На территории посёлка с помощью измерительного комплекса «Камера» была измерена плотность потока радона из почвогрунтов. Результаты показали, что на жилых улицах, дорогах и проездах пос. Усть-Ангарск среднее значение ППР не превышает установленного гигиенического норматива ( $80 \text{ мБк}/(\text{м}^2 \times \text{с})$ ). На этом фоне исследованные рудные отвалы и шахты выделяются аномально высокими значениями ППР. На рудных отвалах средняя ППР составляет  $250 \dots 350 \text{ мБк}/(\text{м}^2 \times \text{с})$ , что в 3 – 4 раза выше гигиенического норматива. Вблизи устьев шахт ППР достигает огромных значений – более  $4000 \text{ мБк}/(\text{м}^2 \times \text{с})$ ! Вслед за ППР на отвалах и вблизи устьев шахт такими же темпами растёт и объёмная активность радона в приземном воздухе.

В этой связи было решено разместить трековые радиометры радона (ТРР) как в жилых помещениях, так и в подпольях жилых домов. Всего было размещено 100 ТРР. В таблице 3 приведены результаты определения ЭРОА ДПР радона после двухмесячного экспонирования

Таблица 3 – ЭРОА радона в воздухе помещений пос. Усть-Ангарск

Тип помещений	Кол-во ТРР	ЭРОА, Бк/м <sup>3</sup>		
		минимум	максимум	среднее
Подполья	44	$17 \pm 3$	$86 \pm 18$	$40 \pm 9$
Жилые помещения	46	$11 \pm 2$	$56 \pm 12$	$19 \pm 5$
Общественные помещения	8	$13 \pm 2$	$37 \pm 8$	$22 \pm 5$
Итого:	98	$11 \pm 2$	$86 \pm 18$	$27 \pm 7$

Средний уровень ЭРОА радона в воздухе жилых и общественных помещений посёлка составляет  $20 \text{ Бк}/\text{м}^3$ , что более чем в 2 раза ниже средней величины ЭРОА радона по Красноярскому краю (за 2005–2010 гг.) для жилых домов ( $51 \text{ Бк}/\text{м}^3$  – [4]). Как и следовало ожидать, величина ЭРОА радона в подпольях жилых домов в 2 раза выше аналогичной величины в жилых помещениях. Однако даже в подпольях величина ЭРОА радона никогда не превышает гигиенического норматива 200 (и даже 100!)  $\text{Бк}/\text{м}^3$ . Таким образом, ис-

следования не показали сколько-нибудь заметного влияния возможных остатков рудных тел в толще земли под посёлком на величину ЭРОА района в воздухе жилых помещений.

Для определения индивидуальных доз выбранной группы населения посёлка 50 термолуминесцентных дозиметров (ТЛД) были размещены в жилых и общественных помещениях и подпольях поселковых домов и зданий. Полученные оценки индивидуальных эффективных доз, обусловленных внешним гамма-излучением внутри подполий, жилых и общественных помещений, отличаются друг от друга незначительно. Статистические критерии позволяют отнести все измеренные дозы к одной генеральной совокупности. По величине полученные дозы соответствуют средним крайним значениям. Если исключить из рассмотрения дозы, полученные в подпольях (по причине незначительного времени пребывания людей в них), то средняя индивидуальная доза за 45 дней составила 0,15 мЗв, а мощность дозы – 0,14 мкЗв/ч.

Кроме того на территории посёлка были отобраны пробы почвогрунтов и щебенистого материала отвалов. Методом гамма-спектрометрического анализа в пробах была определена удельная активность следующих радионуклидов:  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ . Удельная активность техногенного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  не представляет интереса в рамках этой работы, т.к. она характеризует степень радиоактивного техногенного загрязнения территории вследствие глобальных выпадений, которая достаточно хорошо известна [5] и составляет единицы и первые десятки Бк/кг. В таблице 4 приведены результаты гамма-спектрометрического анализа проб почво-грунтов, сгруппированные по местам отбора.

Таблица 4 – Результаты гамма-спектрометрического анализа проб почво-грунтов, Бк/кг

№	Место отбора	Калий-40			Радий-226			Торий-232			$A_{эфф}$		
		мин.	макс.	средн.	мин.	макс.	средн.	мин.	макс.	средн.	мин.	макс.	средн.
1	Отвалы, шахты	209	569	323	24,8	3890	865	5,6	15,6	9,8	63,2	3917,6	898,5
2	Улицы, дороги	167	494	351	7,3	47,6	19,9	10,6	28,1	19,2	50,2	117,3	76,5

Среднее значение удельной активности радия-226 в пробах первой группы, т.е. взятых на отвалах и вблизи устьев шахт, более чем в 40 раз превышает аналогичную величину для проб, отобранных на территории посёлка. Очевидной причиной этого является принадлежность радия-226 урановому ряду и, следовательно, пробы отвалов уранового месторождения и отвальные породы, находящиеся вблизи устьев шахт, должны быть обогащены этим радионуклидом.

По эффективной удельной активности ЕРН отобранные пробы тоже разделились на две группы. Первая группа, т.е. пробы, отобранные на отвалах и вблизи шахт, характеризуется высокими значениями  $A_{эфф}$  при средней величине равной 899 Бк/кг. Породы с такой эффективной удельной активностью нельзя использовать для любых видов строительства, в том числе дорожного в пределах территории населенных пунктов.

Используя полученные результаты, нами была рассчитана индивидуальная среднегодовая доза облучения жителей посёлка, обусловленная присутствием ЕРН в объектах среды обитания, которая складывается из доз внешнего и внутреннего облучения. В расчёте мы учитывали и время нахождения населения вблизи отвалов и устьев шахт (разумеется, меньшее, чем время критической группы).

Отметим, что удельные активности природных радионуклидов в продуктах питания и питьевой воде настолько малы, что их вклад в дозу согласно МУ [3] мы приняли равным среднемировому значению, которое равно 0,12 мЗв/год. Вклад в дозу природных нуклидов, присутствующих в питьевой воде, рассчитанный по результатам лабораторных

исследований проб воды, отобранных в посёлке, составляет около 0,06 мЗв/год, то есть укладывается в принятую величину 0,12 мЗв/год. При оценке дозы за счёт потребления воды радиационные характеристики Рыжего (Рудного) ручья, дренирующего Согренский отвал, в расчёт не принимались, так как согласно опросам местного населения воду из этого ручья жители посёлка не пьют.

Полученная индивидуальная среднегодовая доза облучения жителей пос. Усть-Ангарск за счёт природных радионуклидов, составила **2,56** мЗв/год, что существенно ниже дозы, получаемой средним жителем Красноярского края за счёт природных ИИИ, которая по данным Радиационно-гигиенических паспортов территории Красноярского края за 2005 – 2010 гг. равна 3,99 мЗв/год (без учёта дозы, обусловленной космическим излучением) [13].

**Мероприятия по ограничению доступа населения к шахтам и рудным отвалам.** В результате исследований, проведенных на территории посёлка были разработаны первоочередные меры по снижению радиационной опасности для населения, в первую очередь, –

1. Ограничить доступ людей к рудным отвалам с установкой знаков, предупреждающих о радиационной опасности, проведения разъяснительной работы среди населения с использованием средств массовой информации, проведения лекций для жителей посёлков и занятий со школьниками.

2. Запретить использование пород отвалов в качестве сырья для строительных работ и довести этот запрет до сведения юридических лиц, осуществляющих хозяйственную деятельность, и население поселков Усть-Ангарск и Стрелка.

3. Исключить доступ людей к опасным шахтным стволам и штольням путём засыпки устьев стволов и обрушения устьев штолен.

В 2010–2011 гг. специалисты ООО «Квант», финансируемые краевыми властями, осуществили все необходимые мероприятия по ограничению доступа людей к устьям шахтных стволов и штолен, к рудным отвалам Усть-Ангарского месторождения урана. В настоящее время территория посёлка Усть-Ангарск и его окрестности практически не представляют никакой радиационной опасности, а следы деятельности по добыче урана – лишь напоминают о суровом прошлом.

#### **Список использованных источников**

1. Санитарные правила СП 2.6.1.2800-10 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счёт природных источников ионизирующего излучения».

2. Чететкин В.А. Результаты рекогносцировочных радиоэкологических исследований в пойме р. Енисей. / Отчет регионального Центра радиоэкологических исследований. – Красноярск, 1996. – 65 с.

3. Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счёт природных источников ионизирующего излучения. Методические указания МУ 2.6.1.1088–02.

4. Радиационно-гигиенический паспорт территории Красноярского края за 2005...2010 гг.

5. Сухоруков Ф.В., Дегерменджи А.Г. и др. Закономерности распределения и миграции радионуклидов в долине реки Енисей – Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2004 г. – 287 с.

#### **NATURAL RADIATION ANOMALY IN THE UST-ANGARSK URANIUM DEPOSIT**

A.I.Grigoirev<sup>1</sup>, V.A. Chechetkin<sup>1</sup>, J.S. Reviako<sup>2</sup>, V.V. Kovalenko<sup>3</sup>, E.V. Sobianina<sup>3</sup>

<sup>1</sup>LLC «GEOLA», <sup>2</sup>Federal Organization for Health Protection «Center of Hygiene and Epidemiology in Krasnoyarsk region», <sup>3</sup>Krasnoyarsk Branch of the Federal State Unitary Enterprise

«State Center «Nature», Krasnoyarsk