

# ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДОЗ В НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА БЕРЕГАХ ЕНИСЕЯ В ЗОНЕ НАБЛЮДЕНИЯ ГОРНО-ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

Григорьев А.И.<sup>1</sup>, Панкратов Л.В.<sup>2</sup>, Ревяко Ю.С.<sup>1</sup>, Скударнов С.Е.<sup>1</sup>, Шишлов А.Е.<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> Управление Роспотребнадзора по Красноярскому краю, Красноярск

<sup>3</sup> ФГУП «Горно-химический комбинат», Железногорск

Радиационная безопасность – важный аспект для обеспечения здоровья населения, особенно, когда люди проживают рядом с таким промышленным гигантом, как ФГУП «Горно-химический комбинат» (ГХК). Зона наблюдения (ЗН) ГХК включает территорию с радиусом 20 км вокруг точки газо-аэрозольных выбросов и пойму р. Енисей на протяжении 1000 км от места жидких сбросов комбината. В 20-км части ЗН ГХК расположено 12 сельских населённых пунктов (НП) с общей численностью населения 8,4 тысячи человек и г. Железногорск с населением 102 тыс. человек. На берегах Енисея в границах зоны наблюдения расположено более 30 населённых пунктов, в том числе города Енисейск и Лесосибирск.

Пойма Енисея на протяжении 250 км, от места сброса отходов до впадения Ангары наиболее загрязнена техногенными радионуклидами. Далее на север, как показывают исследования, ситуация существенно изменяется к лучшему. До устья Ангары в пойме Енисея в границах ЗН имеются многочисленные участки аккумуляции техногенных радионуклидов, присутствующих в жидких сбросах комбината. Эти участки объединяются в три аномальные зоны – Балчугскую, Момотово-Казачинскую и Стрелковскую. В 2008–2010 гг. специалистами ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае» (далее – Центр гигиены) проведена оценка современных доз облучения жителей шести населённых пунктов (с. Большой Балчуг, с. Кононово, с. Юкеево, с. Казачинское, с. Момотово и рп. Предивинск), расположенных на берегах Енисея в ЗН, на расстоянии от 6 до 185 км от места сброса жидких отходов ГХК. В этих шести НП проживает 8050 человек, что составляет 80% от всего населения, проживающего в пойме Енисея от места сброса до устья Ангары. Таким образом, получена достаточно полная информация о степени влияния техногенного загрязнения Енисейской поймы на дозовые нагрузки населения.

Необходимо отметить, что 15 апреля 2010 г. был остановлен и заглушен последний атомный реактор Горно-химического комбината. Никаких жидких радиоактивных отходов теперь не выпускается в Енисей. Источником техногенного радиоактивного загрязнения теперь являются процессы размыва и переотложения многолетних осадков, а также процессы фильтрации и дренирования, проходящие в местах расположения прудов-отстойников и подземных хранилищ.

Радиационная обстановка техногенного происхождения в долине реки Енисей сформировалась за период пятидесятилетней деятельности ГХК как результат нормативных и аварийных сбросов в реку загрязнённых вод реакторного и радиохимического заводов.

Обследование радиационной обстановки в пойме реки впервые проводилось в 50-х годах прошлого столетия, вскоре после запуска первого ядерного реактора. Результаты исследований, периодически проводимых на этой территории вплоть до конца 80-х годов, остались практически неизвестны. С начала 90-х годов начали появляться публикации о радиационной обстановке на данной территории. До 2008 года выводы по результатам исследований достаточно сильно отличались друг от друга, поэтому достоверной

информации о дозах техногенного облучения жителей населенных пунктов, расположенных на берегах Енисея в зоне наблюдения ГХК не было.

В 2008 году радиационные исследования проводились в селах Большой Балчуг и Кононово. Село Большой Балчуг находится на правом берегу Енисея в 6 км от границы санитарно-защитной зоны ГХК (см. рис. 1). Это первый населённый пункт, находящийся на пути вод Енисея, нёсших в себе реакторную смесь техногенных радионуклидов. Выпуск жидких отходов ГХК осуществлялся в непосредственной близости к правому берегу реки, поэтому до устья ближайшего достаточно полноводного притока – реки Кан – радиоактивный след должен тянуться, в основном, вдоль правого берега, пока воды Кана не отождут загрязнённые воды к центру Енисея и не заставят их перемешиваться более интенсивно. На левом берегу Енисея исследовалось ближайшее густонаселенное с. Кононово, на береговой полосе которого специалистами Центра гигиены были найдены так называемые «горячие» частицы. На левом берегу Енисея, выше этого села «горячих» частиц исследователи не обнаруживали никогда.

В 2009 году для исследования были выбраны два населенных пункта: с. Юкseeво (левый берег Енисея) и рп. Предивинск (правый берег Енисея). Выбор этих населенных пунктов был обусловлен тем, что в них проживает 80% от всех людей, проживающих на участке р. Енисей на расстоянии от 60 до 140 км от места сброса жидких отходов ГХК. Село Юкseeво расположено в зоне аккумуляции техногенных радионуклидов, а рп. Предивинск расположен в зоне транзита на противоположном берегу реки (см. рис. 2).

В 2010 году были исследованы условия проживания населения в с. Казачинское (левый берег Енисея) и с. Момотово (правый берег Енисея). Ещё в начале 2000-х годов на берегах Енисея в пределах указанных сёл были обнаружены участки с аномальным радиоактивным фоном. В границах и в окрестностях указанных НП есть и заросшие протоки, и острова, что приводило к аккумуляции техногенных радионуклидов (см. рис. 3).

Итак, целью проведенных исследований была оценка современных доз облучения населения, проживающего в НП Большой Балчуг, Кононово, Юкseeво, Предивинск, Момотово, Казачинское и определение вклада техногенного облучения, обусловленного деятельностью ГХК. Гидродинамические, географические, геологические и даже экономические характеристики, присущие изученным населённым пунктам, перекрывают практически весь диапазон их возможных изменений от места сброса до устья Ангары.



Рисунок 1. Расположение сёл Большой Балчук и Кононово в пойме реки Енисей

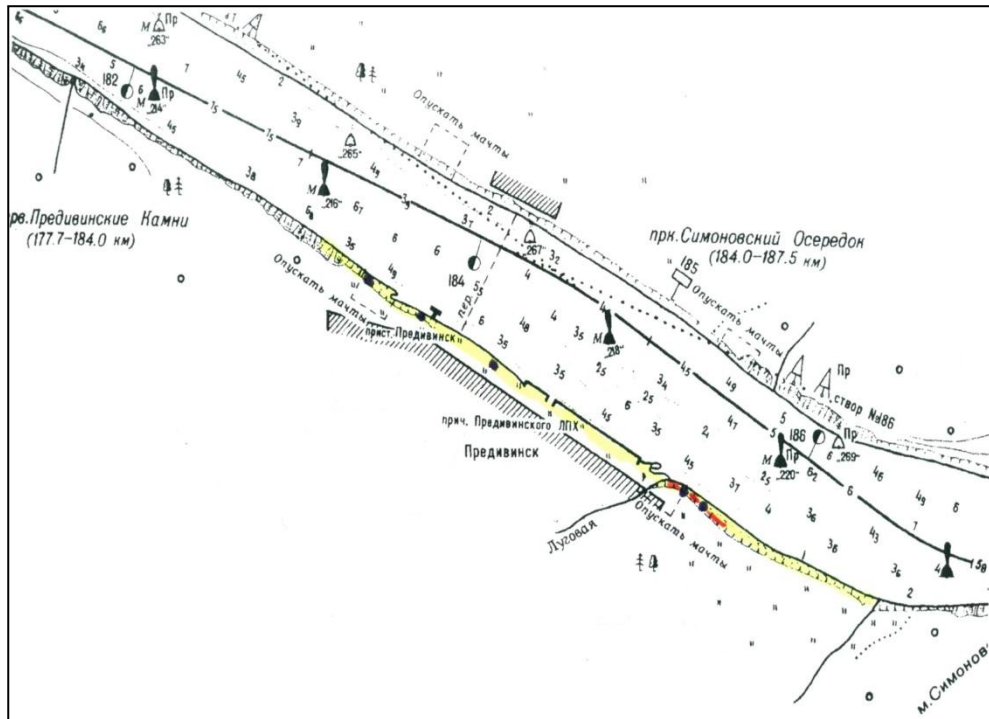
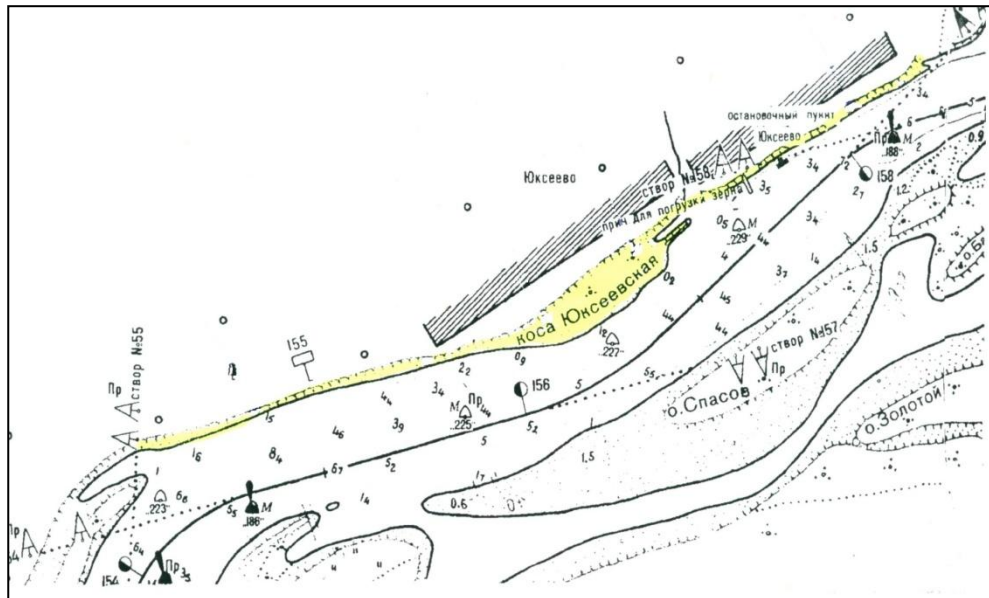


Рисунок 2. Расположение с. Юксеево (вверху) и рабочего посёлка Предивинск (внизу) на берегах Енисея

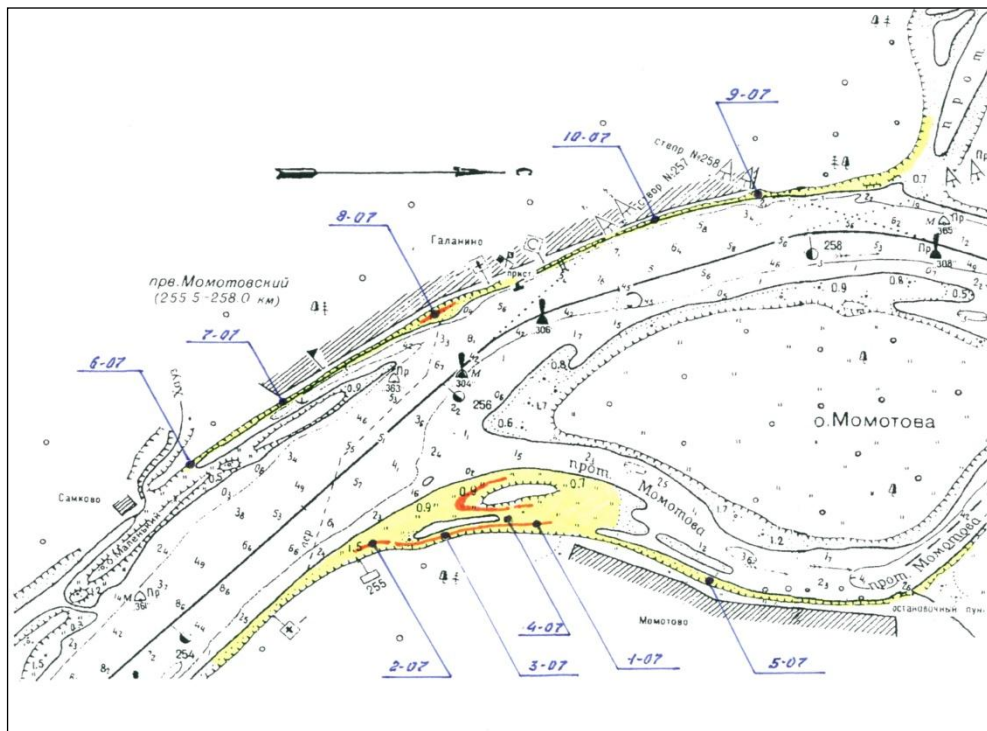
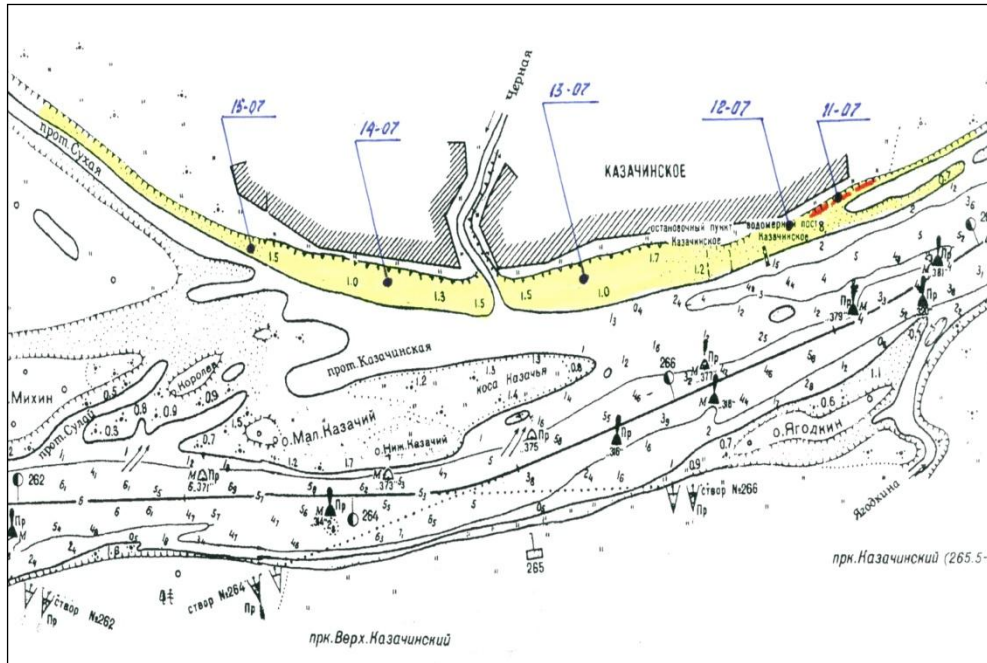


Рисунок 3. Расположение с. Казачинское (вверху) и с. Момотово (внизу) на берегах Енисея

## Задачи и методы исследования

Основными задачами исследования являлись:

1. Выделение критической и контрольной групп жителей, проживающих в населенных пунктах, основная деятельность которых не связана с выездом за пределы населённого пункта (НП).
2. Проведение анкетирования и расчёт долей времени, которые человек проводит вне НП, на территории НП и в закрытых помещениях. Расчёт среднего годового потребления продуктов питания для обеих групп.
3. Проведение гамма-съемки береговой полосы, приусадебных участков, отбор и исследование проб почвы, воды и основных продуктов питания.
4. Определение мощности дозы внешнего гамма-излучения и эквивалентной равновесной объёмной активности (ЭРОА) радона в жилых и общественных помещениях НП.
5. Расчёт доз облучения жителей от внешних и внутренних источников облучения, выявление, при возможности, вклада техногенных источников, связанных с деятельностью ГХК.

Выбор аппаратуры и методов, использованных при выполнении научно-исследовательской работы, определялся необходимостью проведения полного радиационного исследования зоны наблюдения.

- Гамма-съемка береговой полосы. Участки техногенного радиоактивного загрязнения в пойме Енисея обычно имеют точечный или вытянутый вдоль берега реки характер. Они, как правило, локализуются на границе отложений высокой и низкой пойм, реже у кромки воды. Гамма-съемка выполнялась с использованием поисковых радиометров типа «СРП 68-01».

Точные измерения мощности дозы выполнялись в отдельных точках с использованием цифрового профессионального дозиметра «ДРГ-01Т1».

- Гамма-съемка приусадебных участков. Гамма-съемка приусадебных участков выполнялась по всей площади участка с равномерно распределенными точками измерения гамма-фона. Между точками выполнялся непрерывный контроль гамма-фона с использованием дозиметра «ДРГ-01Т1».

- Отбор проб. Отбор проб грунта производился цилиндрическим пробоотборником диаметром 64 мм до глубины 5÷10 см.

Отбор проб пищевых продуктов и воды производился в соответствии с методическими рекомендациями.

- Лабораторные исследования. Определение активности дозообразующих природных и техногенных радионуклидов в пробах осуществлялось с использованием метода гамма-спектрометрического анализа и метода радиохимического определения  $^{90}\text{Sr}$ .

Определение общей (суммарной)  $\alpha$ - и  $\beta$ -активности воды выполнялось путем упаривания пробы воды до сухого остатка для концентрирования присутствующих радионуклидов и измерения скорости счета  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучения полученного образца с использованием низкофонового радиометра «Berthold LB-770» (Германия).

Определение мощности дозы внешнего гамма-излучения в помещениях выполнялось с использованием термолюминесцентной дозиметрии с временем экспозиции дозиметров не менее 1 месяца. Для измерения накопленных доз использовался аппаратный комплекс АКЖДК-201.

ЭРОА радона в жилых и общественных помещениях определялась интегральным методом – посредством длительного (не менее 1 месяца) экспонирования трековых радиометров радона с последующим использованием искровой техники подсчета треков.

## Результаты исследования

При изучении доз облучения населения, среди жителей всех НП были выделены две группы: контрольная и критическая в количестве не менее 15 человек. К критической группе были отнесены люди, проводящие значительную долю времени на берегах Енисея, где наблюдался повышенный радиационный фон, обусловленный радиоактивным загрязнением поймы; эти люди преимущественно являлись рыбаками или грибниками. Проведенное анкетирование позволило выделить критические группы и связать их с величиной потребления рыбы местного улова, грибов и ягод. Не всегда эта связь была очевидной, но чаще – она наблюдалась. На рисунках 4 – 10 приведены диаграммы распределения жителей одного из НП по потреблению основных дозообразующих продуктов питания.

Из диаграмм видно, что потребление картофеля, хлеба, молока и мяса не зависит от отнесения к той или иной группе, но увеличенное потребление рыбы и дикоросов есть критический признак, совпадающий с резко увеличенным средним временем пребывания за пределами села.

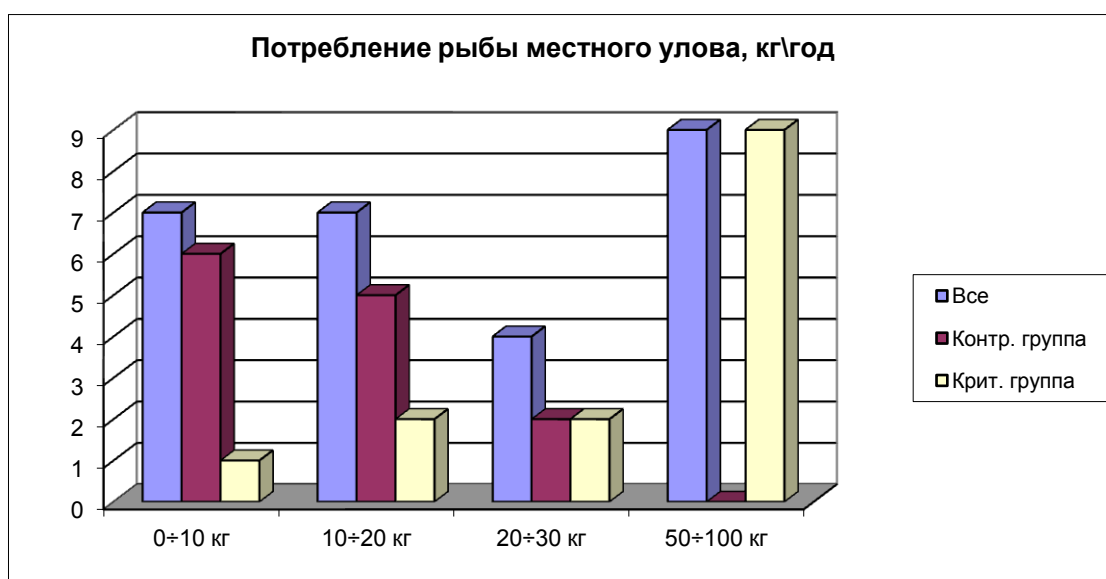


Рис. 4. Распределение жителей НП по потреблению рыбы

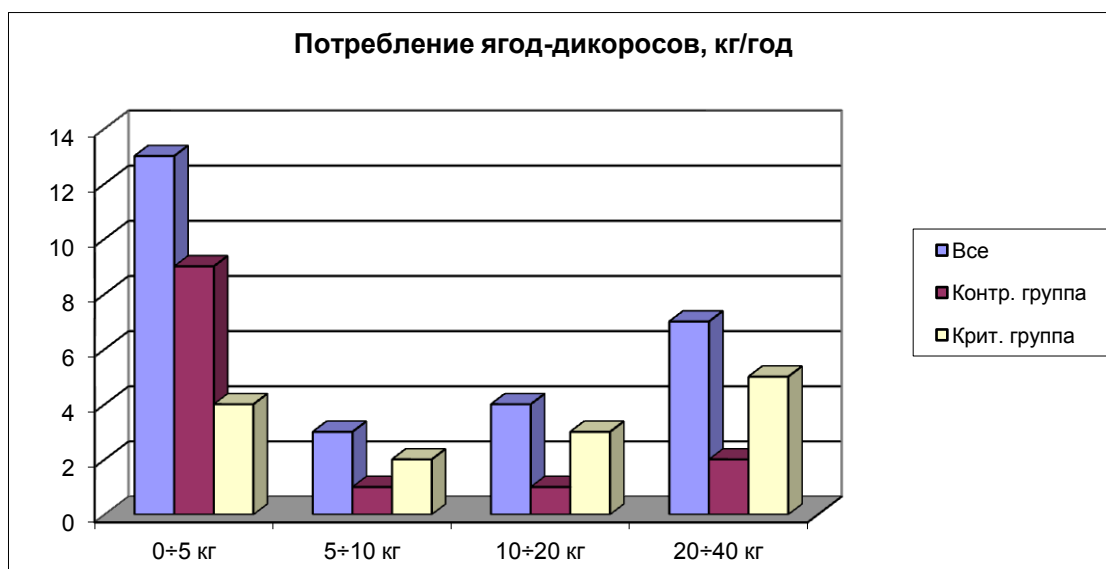


Рис. 5. Распределение жителей НП по потреблению ягод-дикоросов

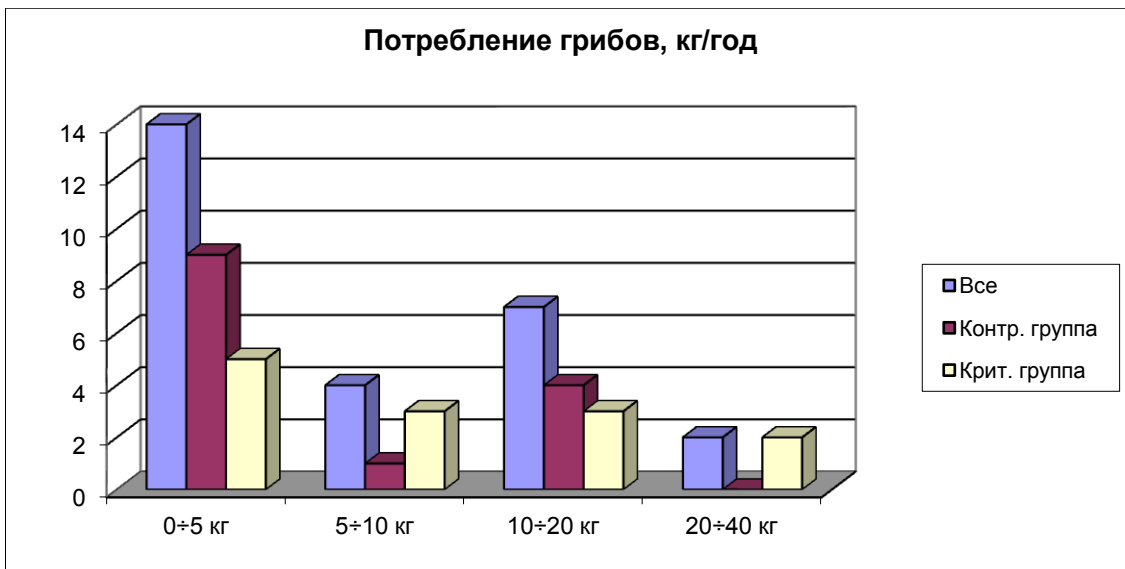


Рис. 6. Распределение жителей НП по потреблению грибов

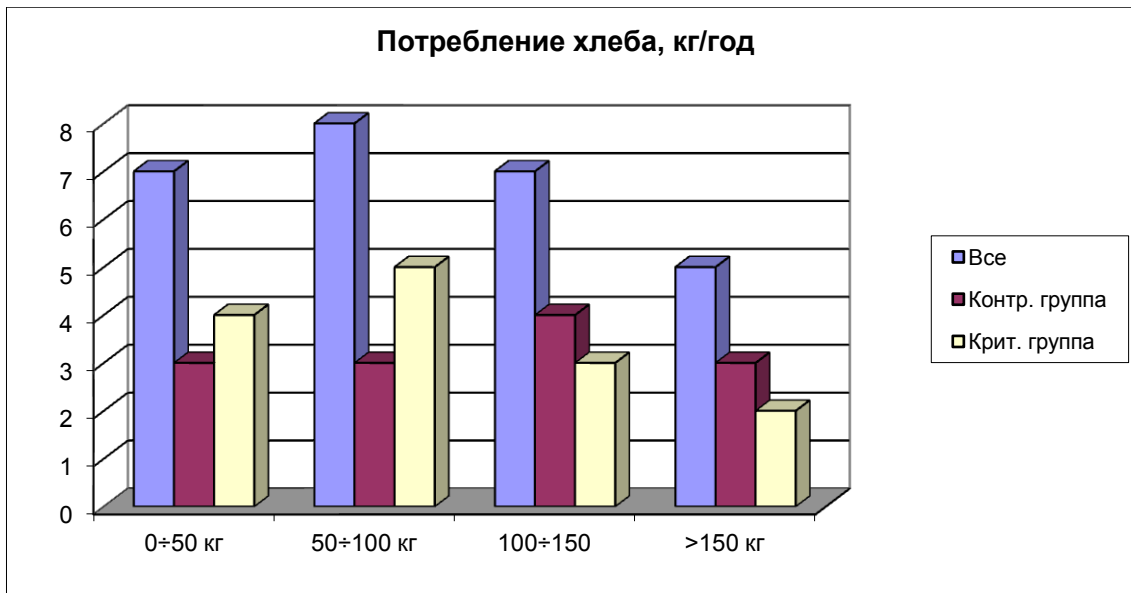


Рис. 7. Распределение жителей НП по потреблению хлебных изделий

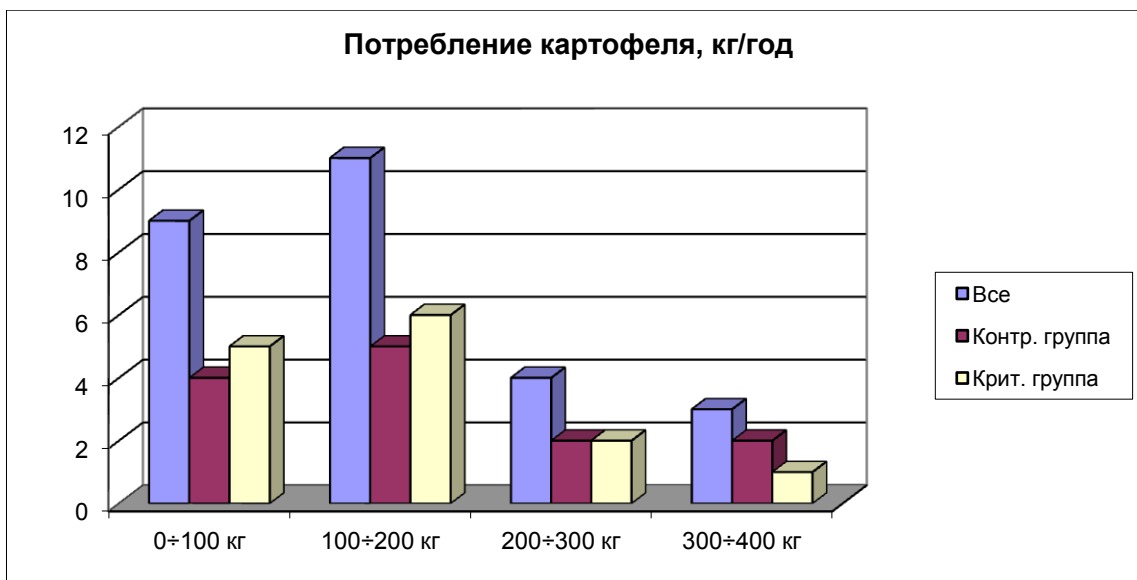


Рис. 8. Распределение жителей НП по потреблению картофеля



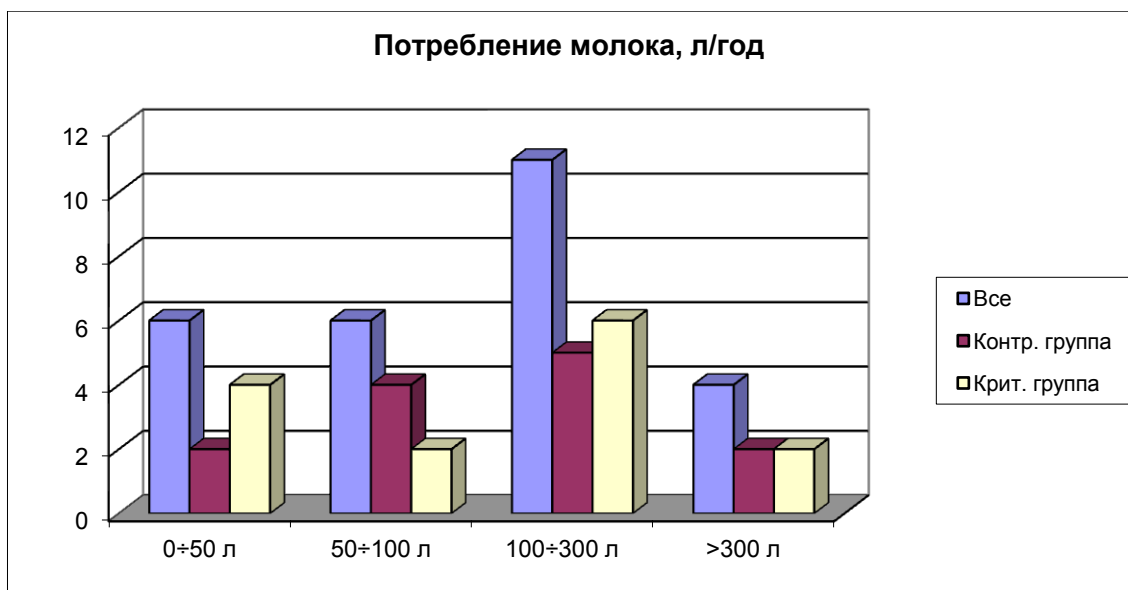


Рис. 9. Распределение жителей НП по потреблению молока

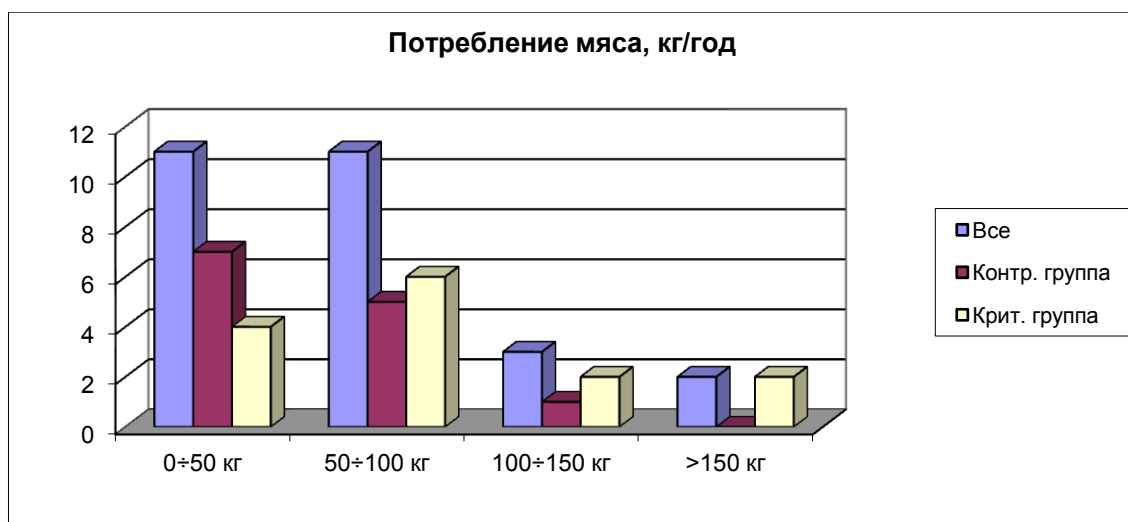


Рис. 10. Распределение жителей НП по потреблению мяса

### **Село Большой Балчуг**

На примере села Большой Балчуг рассмотрим расчёт среднегодовой дозовой нагрузки жителей

Жилая зона села занимает площадь около 60 га и включает 36 частных домов. В них проживает от 130 до 150 человек в зависимости от времени года. Основной источник питания жителей – продукция личных подсобных хозяйств (овощи, мясо, молоко), дикоросы (грибы, ягоды) и рыба, вылавливаемая в Енисее. На берегу было выявлено не менее восьми аномалий, мощность дозы и удельная активность в которых выше средних значений в селе. Особенность загрязнения почво-грунтов береговой полосы села заключается в том, что местоположения участков с повышенными значениями мощности дозы и удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  от года к году изменяется. Это объясняется тем, что высокие уровни техногенных радионуклидов почво-грунтов связаны с присутствием в них высокоактивных «горячих» частиц, переносимых течением реки, особенно в периоды половодий.



Рис. 11. Панорама села Большой Балчуг.

При изучении доз облучения населения, жители села были разделены на две группы: контрольную и критическую. К критической группе были отнесены люди, проводящие значительную долю времени на берегах Енисея, где наблюдался повышенный радиационный фон; и при этом, потребляющие не менее 50 кг/год рыбы, 25 кг/год грибов и 25 кг/год ягоды.



Рис. 12. Протока в Балчугской пойме. Здесь ходят рыбаки и грибники. Мощность дозы здесь достигает 0,3 мкЗв/час.



Рис. 13. Слой радиоактивного загрязнения, пронизывающий всю пойму Енисея.

Выделение техногенной составляющей во внешнем облучении производилось на основании того факта, что большая мощность дозы на береговой полосе или в пойме по сравнению с мощностью дозы на территории села или на подворьях обусловлена именно излучением техногенных радионуклидов, в основном, цезия-137. Так в Большом Балчуге средняя мощность дозы на территории села составляла 0,10 мкЗв/час, а на береговой полосе – 0,22 мкЗв/час. Техногенная составляющая внутреннего облучения рассчитывалась на основании рациона питания, определённого путём анкетирования, и результатов лабораторных исследований основных продуктов питания жителей.

По результатам измерений и лабораторных исследований были рассчитаны данные, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Среднегодовая доза облучения жителей села Большой Балчуг, мЗв/год.

Виды и источники облучения		Среднегодовая доза облучения, мЗв/год	
		Критическая группа	Контрольная группа
Внешнее облучение	Полная	0,69	0,65
	в т.ч. за счет ТРН, связанных с деятельностью ГХК	0,053	0,011
Внутреннее облучение	Радон и его ДПР	3,07	3,07
	Природные радионуклиды в продуктах питания и питьевой воде	0,12	0,12
	техногенные радионуклиды в продуктах питания	0,058	0,045
	<sup>40</sup> К в организме	0,17	0,17
<b>ИТОГО:</b>		<b>4,16</b>	<b>4,07</b>

Полные индивидуальные среднегодовые дозы облучения жителей села Большой Балчуг равны 4,16 мЗв/год (критическая группа населения) и 4,07 мЗв/год (контрольная группа населения). При этом вклад в полную дозу облучения, обусловленный техногенным радиоактивным загрязнением, связанный с деятельностью ГХК, равен 0,11 и

0,06 мЗв/год для критической и контрольной групп соответственно. Индивидуальный риск для населения за счет техногенных источников излучения составил для критической группы  $0,6 \cdot 10^{-5}$  случаев, а для контрольной группы –  $0,3 \cdot 10^{-5}$  случаев. Согласно существующим нормам, пределы доз облучения населения в течение года устанавливаются исходя из значения индивидуального пожизненного риска, равного  $5,0 \cdot 10^{-5}$  случаев.

Исследования, проведенные в 2005 и 2007 гг., дали более высокие оценки среднегодовой дозы техногенного облучения жителей села: 0,44 мЗв/год для 2005 г. и 0,27 мЗв/год для 2007 г. Уровень вмешательства, приведённый в «Нормах радиационной безопасности (НРБ-99)», составляет 0,3 мЗв/год. При превышении этого уровня необходимо проведение защитных мероприятий по ограничению облучения населения. Можно предположить, что оценка техногенного вклада в дозу жителей села с каждым годом становилась всё корректнее, и последняя оценка представляет собой наиболее достоверную величину.

Аналогичные исследования и расчёты были проведены в пяти других населённых пунктах, расположенных по обоим берегам Енисея. В с Кононово расчёты не показали ощутимой разницы между критической и контрольной группами. В населённых пунктах Юксеево, Предивинск, Казачинское полная доза жителей контрольной группы оказалась даже несколько выше дозы жителей критической группы, что обусловлено повышенной долей облучения за счёт дочерних продуктов распада (ДПР) радона, так как жители, отнесённые к контрольной группе, находятся внутри зданий большую часть времени по сравнению с рыбаками и грибниками.

В таблице 2 приведена сводная информация по 6-ти исследованным населённым пунктам.

Таблица 2 – Дозы облучения жителей 4-х населённых пунктов, расположенных в ЗН ГХК

Нас. пункт	Группа	Индивидуальная среднегодовая доза, мЗв/год		Индивидуальный пожизненный риск, $\cdot 10^{-5}$ случаев
		полная	в т.ч. за счёт ТРЗ ГХК	
<b>Большой Балчуг</b>	крит.	4,16	0,11	0,6
	контр.	4,07	0,06	0,3
<b>Кононово</b>	крит.	2,98	0,04	0,2
	контр.	2,98	0,04	0,2
<b>Юксеево</b>	крит.	2,31	0,10	0,6
	контр.	2,41	0,05	0,3
<b>Предивинск</b>	крит.	2,18	0,06	0,3
	контр.	2,26	0,03	0,2
<b>Момотово</b>	крит.	2,46	0,07	0,4
	контр.	2,45	0,04	0,2
<b>Казачинское</b>	крит.	2,38	0,07	0,4
	контр.	2,53	0,03	0,2

Полные среднегодовые дозы облучения населения, проживающего в исследованных населённых пунктах, меньше индивидуальной среднегодовой дозы

облучения жителей Красноярского края, которая по данным «Радиационно-гигиенического паспорта Красноярского края» в 2010 г. составляла 4,18 мЗв/год, в 2009 г. – 4,77 мЗв/год, в 2008 г. – 5,23 мЗв/год (без вклада дозы медицинского облучения). Дополнительный вклад в дозу облучения населения, обусловленный деятельностью ГХК, не превышает 4,5 % от полной дозы, а по абсолютной величине не достигает уровня вмешательства, равного 0,3 мЗв/год.

Необходимо отметить, что осуществлённое выделение техногенной составляющей дозы населения, обусловленной деятельностью ГХК, носит достаточно искусственный характер. Во-первых, дозовая нагрузка контрольной группы во всех населённых пунктах оказалась либо практически равной, либо даже несколько выше, чем критической группы, так что само понятие «критичность» не говорит о большем риске возможных последствий облучения. Во-вторых, абсолютная величина рассчитанной техногенной компоненты составляет 1 – 4% от полной дозы, что говорит о возможной статистической незначимости выделенной компоненты. И наконец, дополнительная мощность дозы, обусловленная ТРН, на береговой полосе исследованных сёл не превышает 23% от измеряемой величины, что в 1,5 раза меньше декларируемой ошибки воспроизводимости используемого дозиметра.

### **Выводы**

Современные дозы облучения населения, проживающего в НП Большой Балчуг, Кононово, Юкеево, Предивинск, Момотово, Казачинское, расположенных на удалении до 200 км от санитарно-защитной зоны Горно-химического комбината, не вызывают никаких опасений с точки зрения радиационной гигиены. Величина техногенной составляющей ниже уровня вмешательства и будет продолжать уменьшаться за счёт экранирующего действия реки.

Однако наблюдение за радиационной обстановкой в данных населённых пунктах необходимо обязательно проводить, так как во время половодий возможен перенос техногенных радионуклидов и изменение глубины их залегания, и, как следствие этого, существенное изменение гамма-фона на некоторых участках. Тот радиоактивный слой, который много десятков лет откладывался в пойме р. Енисей, не растворился и не ушёл в Карское море. Он остаётся на месте большим радиоактивным запасом и будет ещё долгие годы влиять на человеческую жизнь.