

**Радиоэкологические
проблемы при добыче и
переработке минерально-
сырьевых ресурсов**

В настоящее время все промышленные типы месторождений твёрдых полезных ископаемых по степени радиационной опасности, следуя рекомендациям ОСПОРБ-99, подразделяются на четыре категории (табл. 9.1) (Хайкович и др., 1999):

- особо опасные;
- опасные;
- потенциально опасные (условно безопасные);
- безопасные .

№ п/п	Категория месторождения (класс опасности)	A _{эфф} , Бк/кг		X, мкР/ч	
		от	до	от	до
1	Особо опасные	Более 3 300		Более 350,0	
2	Опасные	1 101	3 300	116	350
3	Потенциально опасные	101	1 100	10,1	115,0
4	Безопасные	Менее 100		Менее 10,0	

К безопасным относят месторождения полезных ископаемых, которые не нуждаются в проведении специальных исследований для заключения об их радиационной опасности для персонала и населения.

К потенциально опасным – месторождения, которые по своим **радиогеохимическим** показателям не представляют опасности, но заключение об их радиационной опасности (или безопасности) не может быть сделано без дополнительных исследований радиационной обстановки.

Опасными и особо опасными являются месторождения, при разведке и эксплуатации которых должны быть приняты специальные меры, обеспечивающие безопасность населения, проживающего в его окрестности.

По признаку потенциальной радоноопасности все почвы, породы и руды могут быть разделены на следующие 5 категорий (классов) (Беляев и др., 2003):

безопасные – ультраосновные изверженные породы, кварциты, гипсы и т.п. ($A_{эфф} < 30$ Бк/кг, $Q(U) < 10^{-4}\%$, $N < 50$ Бк/л, $P < 20$ мБк /($m^2 \cdot c$));

условно безопасные – основные изверженные породы, известняки, мраморы (30 Бк/кг $< A_{эфф} < 100$ Бк/кг, $10^{-4}\% < Q(U) < 5 \cdot 10^{-4} \%$, 50 Бк/л $< N < 100$ Бк/л, 20 мБк /($m^2 \cdot c$) $< P < 40$ мБк /($m^2 \cdot c$));

потенциально-опасные – средние изверженные породы, песчаники (100 Бк/кг $< A_{эфф} < 200$ Бк/кг, $5 \cdot 10^{-4}\% < Q(U) < 10^{-3}\%$, 100 Бк/л $< N < 200$ Бк/л, 40 мБк /($m^2 \cdot c$) $< P < 80$ мБк /($m^2 \cdot c$));

опасные – щелочные и кислые изверженные породы, сланцы, гнейсы, а также месторождения, содержащие повышенные значения массовых долей урана и тория ($200 \text{ Бк/кг} < \text{Аэфф} < 1000 \text{ Бк/кг}$, $10\text{-}3\% < Q(U) < 10\text{-}2\%$, $200 \text{ Бк/л} < N < 500 \text{ Бк/л}$, $80 \text{ мБк} /(\text{м}^2 \cdot \text{с}) < P < 200 \text{ мБк} /(\text{м}^2 \cdot \text{с})$);

особо-опасные – месторождения урановых и некоторых других типов руд ($\text{Аэфф} > 1000 \text{ Бк/кг}$, $Q(U) > 10\text{-}2\%$, $N > 500 \text{ Бк/л}$, $P > 200 \text{ мБк} /(\text{м}^2 \cdot \text{с})$)

Аэфф – суммарная эффективная удельная активность от естественных радионуклидов (расчёт ведётся по формуле, приведённой в главе 2);

$Q(U)$ – содержание урана в %;

N – объёмная активность радона в почвенном воздухе на глубине $> 0,5 \text{ м}$;

P – плотность потока радона.

К классу опасных и потенциально опасных месторождений могут быть отнесены не только месторождения радиоактивных и редкометалльно-редкоземельных руд, но и месторождения, для которых казалось бы присутствие естественных радиоактивных элементов и продуктов их распада нехарактерно (золоторудные, железорудные, флюоритовые, полиметаллические, нефтяные и др.).

Это обусловлено тем, что урановая минерализация может накладываться на многие типы руд образуя комплексные месторождения.

например: железо-урановые - Таштагол и др., золото-урановые - Центральное и др.

**Ярко выраженная минеральная ассоциация
браннерита(сложный титанат урана , серое) и золота.**

Она обуславливает высокую радиоактивность шлихов некоторых россыпных месторождений золота Забайкалья и др. районов.
Фотография любезно предоставлена проф. Мироновым А.Г.,г.Улан-Удэ. Увел.~6 раз



Практически в каждом горнорудном районе могут быть выявлены потенциально опасные в радиоэкологическом отношении породы и руды.

Например, на угольных месторождениях Сибири, таковыми могут быть угли зоны окисления пластов (Арбузов и др., 2003; Юдович и др., 2001 и др.).

В.М. Котова и Г.А. Пелымский (2002) приводят обобщённые результаты изучения радиационной обстановки на некоторых горнодобывающих предприятиях Мира

Ярким примером такой ситуации может быть месторождение Акчатау (Казахстан), которое относится к вольфрам-молибденовому грейзеновому типу гидротермальных месторождений.

Радиационная обстановка в подземных горных выработках данного объекта характеризуется следующими параметрами («Учебно-методическое ...», 2002):

- мощность экспозиционной дозы гамма-излучения от 150 до 3 500 мкР/ч;
- концентрация урана (по Ra) 45-440 г/т;
- концентрация тория 131-220 г/т;
- концентрация калия 2-9,5%;
- средняя арифметическая объёмная активность дочерних продуктов распада радона 290 пКи/л. Эффективная доза облучения горняков за год оценивалась примерно на уровне 108 мЗв/год («Учебно-методическое ...», 2002).

Обследование рабочего посёлка Акчатау показало, что в 3% домов годовая эффективная доза изменялась от 0,64 до 2,3 Зв/год (!); в 12% – от 51 до 300 мЗв/год; в 29% – от 15,6 до 43 мЗв/год

При этом наибольшую нагрузку на окружающую среду и дозовую нагрузку на человека при разработке нерадиоактивного сырья оказывают объекты добычи, переработки и использования фосфоритов, угля, редкометально-редкоземельных руд, в том числе титан-урановых россыпей и др. в т.ч. нефтяных месторождений

Размещение основных объектов, создающих комплексное радиационное воздействие на природные среды и человека на территории Республики



К контролируемым параметрам радиационной обстановки на предприятиях НГК относятся:

1. Удельная активность и эффективная удельная активность природных радионуклидов в производственных отходах (Аэфф) с относительной погрешностью не более 20%.
2. Мощность дозы гамма-излучения природных радионуклидов, содержащихся в производственных отходах, измеренная на расстоянии 0,1 м от их поверхности.
3. Среднегодовое значение общей запылённости воздуха в рабочей зоне и удельная активность природных радионуклидов в пыли.
4. Эквивалентная равновесная объёмная активность (ЭРОА) изотопов радона в воздухе рабочей зоны.

Техногенные радиоактивные ореолы не нефтяном месторождении

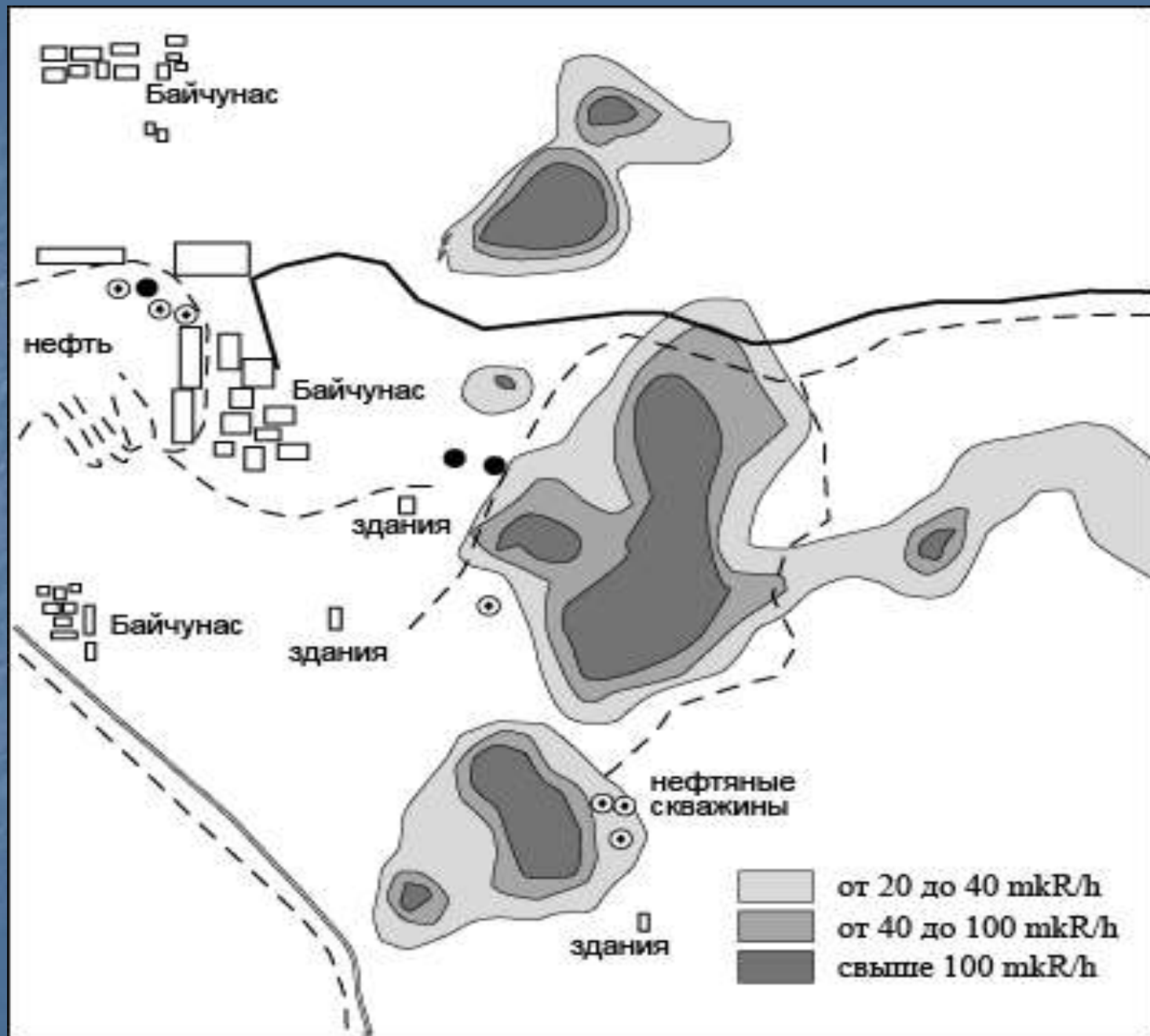
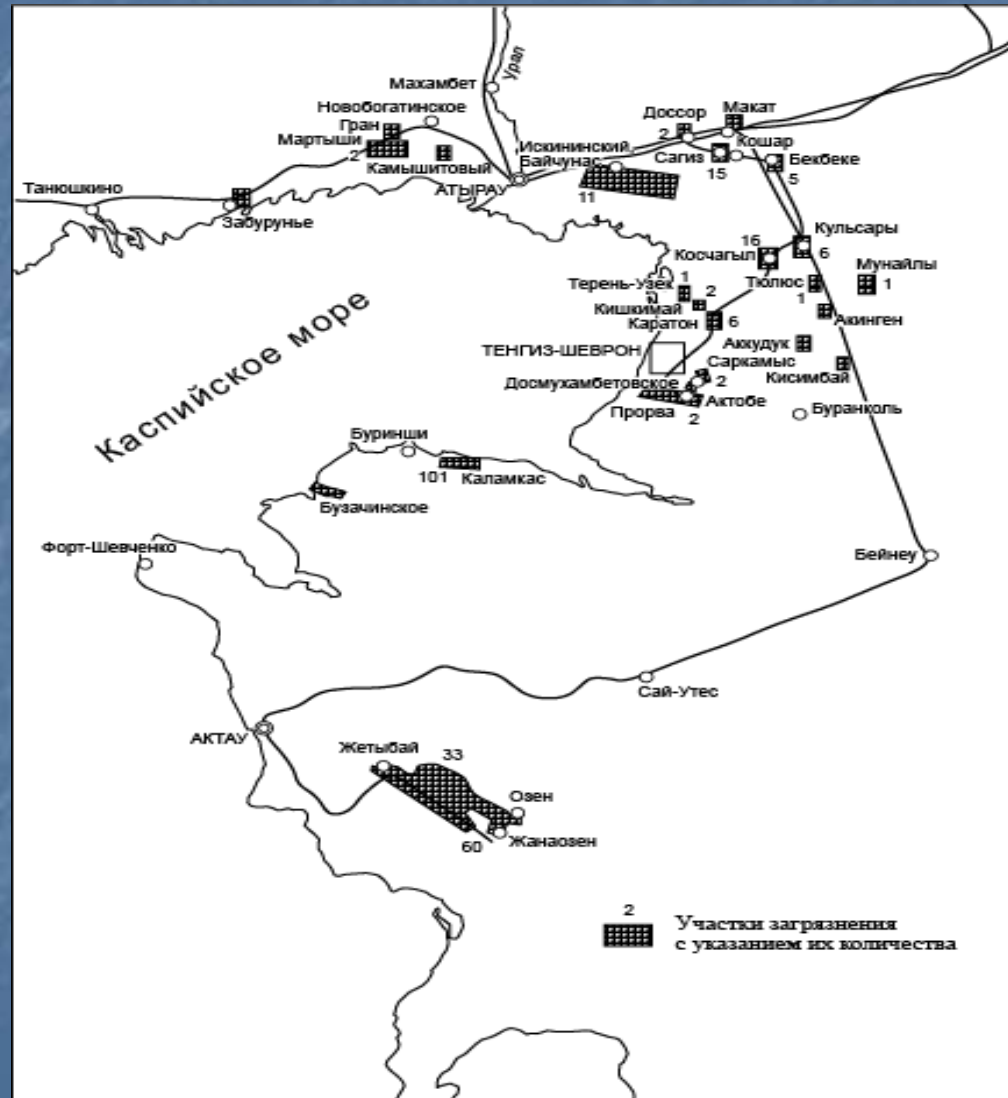


Схема участков радиоактивного заражения в нефтяном регионе Казахстана

(по «Учебно-методическому руководству ...», 2002).



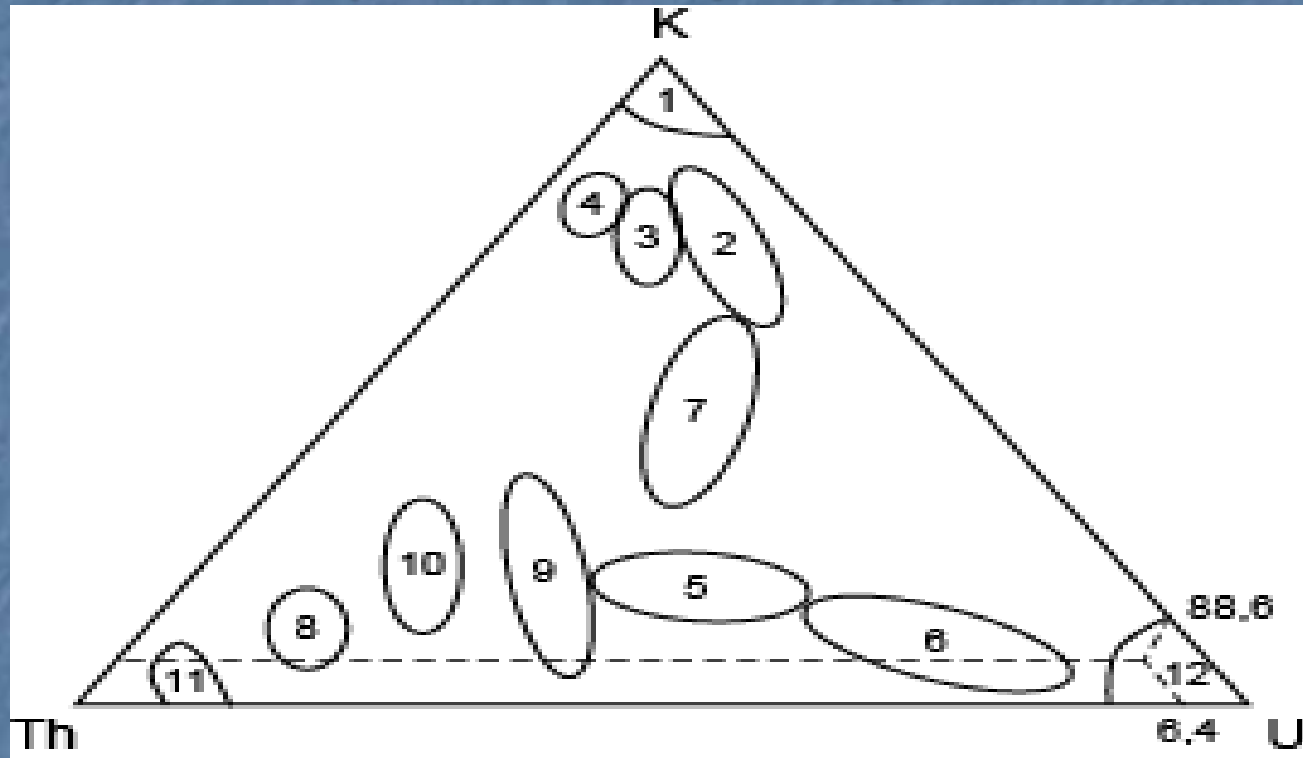
Радиоэкологические показатели месторождений характеризуют следующие параметры:

- содержание ЕРН в горно-рудной массе и во вмещающих породах;
- коэффициент нарушения радиоактивного равновесия между радием и ураном;
- коэффициент эманирования по радону;
- запылённость горных выработок и содержание в пыли ЕРН;
- концентрация радона и торона в воздухе горных выработок;
- показатель удельного радоно- и тороновыделения на единицу объёма выработки и на единицу добытых запасов.

Радиоэкологическая обстановка зависит также и от принятых технологических решений:

- способ и система разведки (скважинами, канавами, подземными горными выработками);
- способы и система отработки месторождений (карьерный, подземный, гидроразрыв, подземное выщелачивание и т.п.);
- системы жизнеобеспечения горных выработок;
- способы пылеподавления и очистки воздуха;
- способы осушения месторождения и система водоотвода;
- мероприятия по защите горных выработок от наводнения и их воздействие на гидродинамическую обстановку;
- транспортировка горно-рудной массы и отходов;
- способы переработки горно-рудной массы и отходов;
- складирование сырья и формирование отвалов.

Радиогеохимическая типизация минеральных удобрений



Поле минерального удобрения: 1 – калий хлористый, 2 – тепличное удобрение, 3 – нитроаммофоска, 4 – диаммофоска, 5 – аммиачная селитра, 6 – мочевины, 7 – нитрааммофос, 9-суперфосфат, 10 – двойной суперфосфат, 11 – аммофос, 12 – фосфоритная мука.

При освоении урановых месторождений в окружающую среду поступают радионуклиды трёх радиоактивных семейств – ^{238}U , ^{235}U и ^{232}Th , но общая радиоактивность в основном обусловлена семейством ^{238}U , из которого наиболее активными являются ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn и другие естественные радионуклиды.

Рудничная пыль, рудничные воды, пыль и аэрозоли хвостохранилищ обогатительных фабрик и гидрометаллургических заводов выносят в окружающую среду многие радионуклиды, а иногда и тяжёлые металлы, которые переносятся поверхностными и грунтовыми водами, потоками воздуха на значительные расстояния, загрязняя соответствующие территории, образуя специфические приподно-техногенные районы и субпровинции.

В уранодобывающей промышленности загрязняющие окружающую среду отходы могут быть разделены на отходы производства и отходы потребления.

Отличительной же особенностью **уранодобывающей промышленности от любой другой горнодобывающей отрасли** является повышенная радиоактивность практически всех её отходов.

По своему агрегатному состоянию радиоактивные отходы подразделяются на твёрдые, жидкие и газообразные. Количество и состав отходов зависят от характеристики рудного сырья и условий его добычи, а также первичной переработки.

Твёрдые отходы урановых рудников и карьеров представляют собой пустые породы (с фоновой или близкой к ней радиоактивностью); забалансовые урановые руды; отвалы хвостов радиометрической сортировки руд; неиспользуемые, попутно добываемые полезные ископаемые; хвосты кучного выщелачивания.

При разработке месторождений подземным способом на каждую тонну добываемой руды приходится 0,2-0,3, а то и более тонн пустых пород и забалансовых руд из горно-капитальных, горноподготовительных и нарезных работ.

На предприятиях, ведущих открытую добычу, на каждую тонну руды может приходиться до 8-10 и более тонн пустых пород от вскрыши карьера. Кроме того, в каждой тонне добытой руды может находиться от 5 до 25-30% пустых пород (забалансовых руд) из-за её разубоживания. Они могут быть частично удалены в результате радиометрической сортировки (с выделением хвостов).

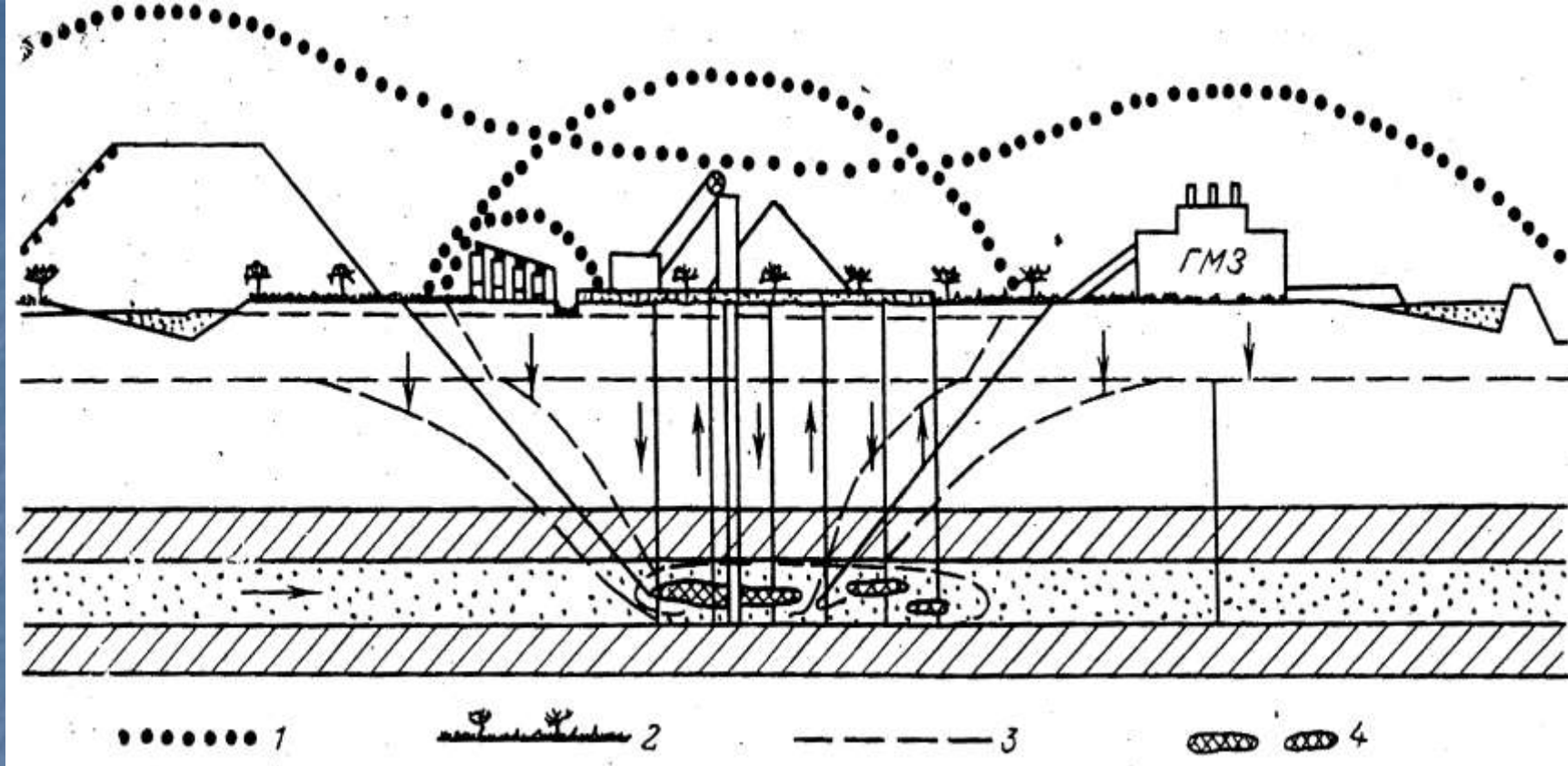


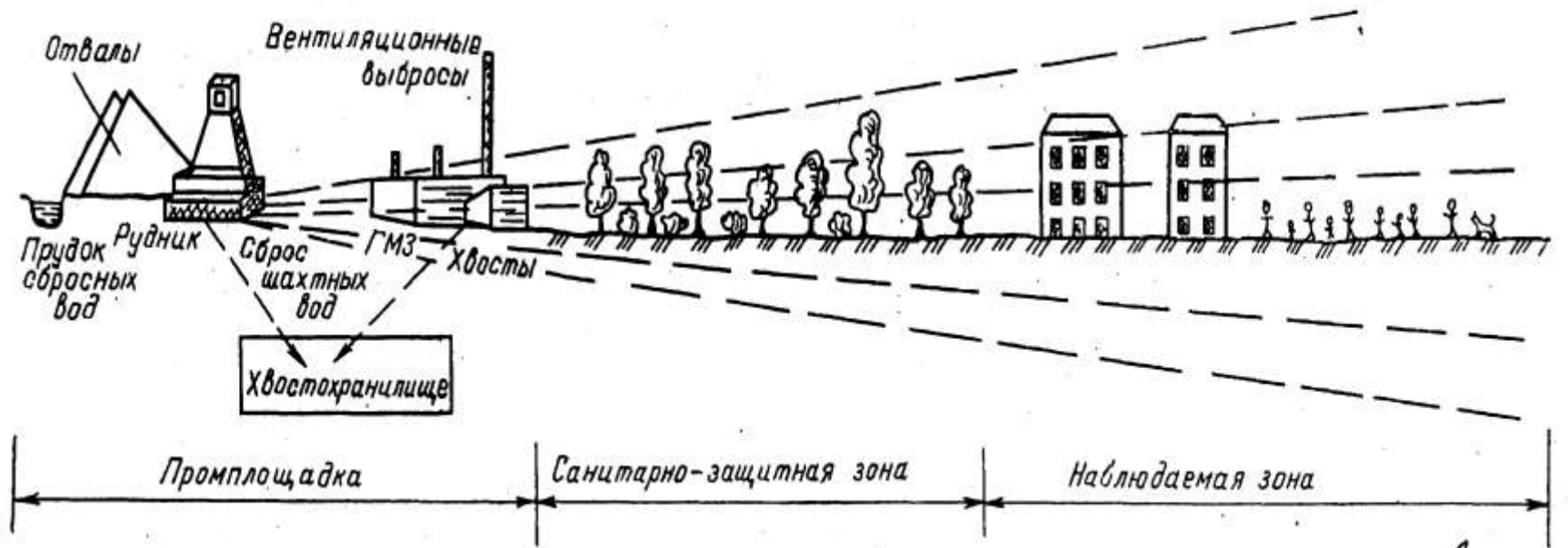
Схема ореолов загрязнения воздушной среды (1), земли и ландшафтов (2), подземных и поверхностных вод (3) при отработке активных запасов руды(4) при горных работах и подземном выщелачивании

Источник
радиоактивности, Бк(Ки)

Полная
экспозиционная доза, Р

Облучение
неживых объектов живых организмов

Поглощенная доза, Гр(рад)
Эквивалентная
доза, Зв



Распространение радиоактивности в районе уранодобывающих и урановоперерабатывающих предприятий

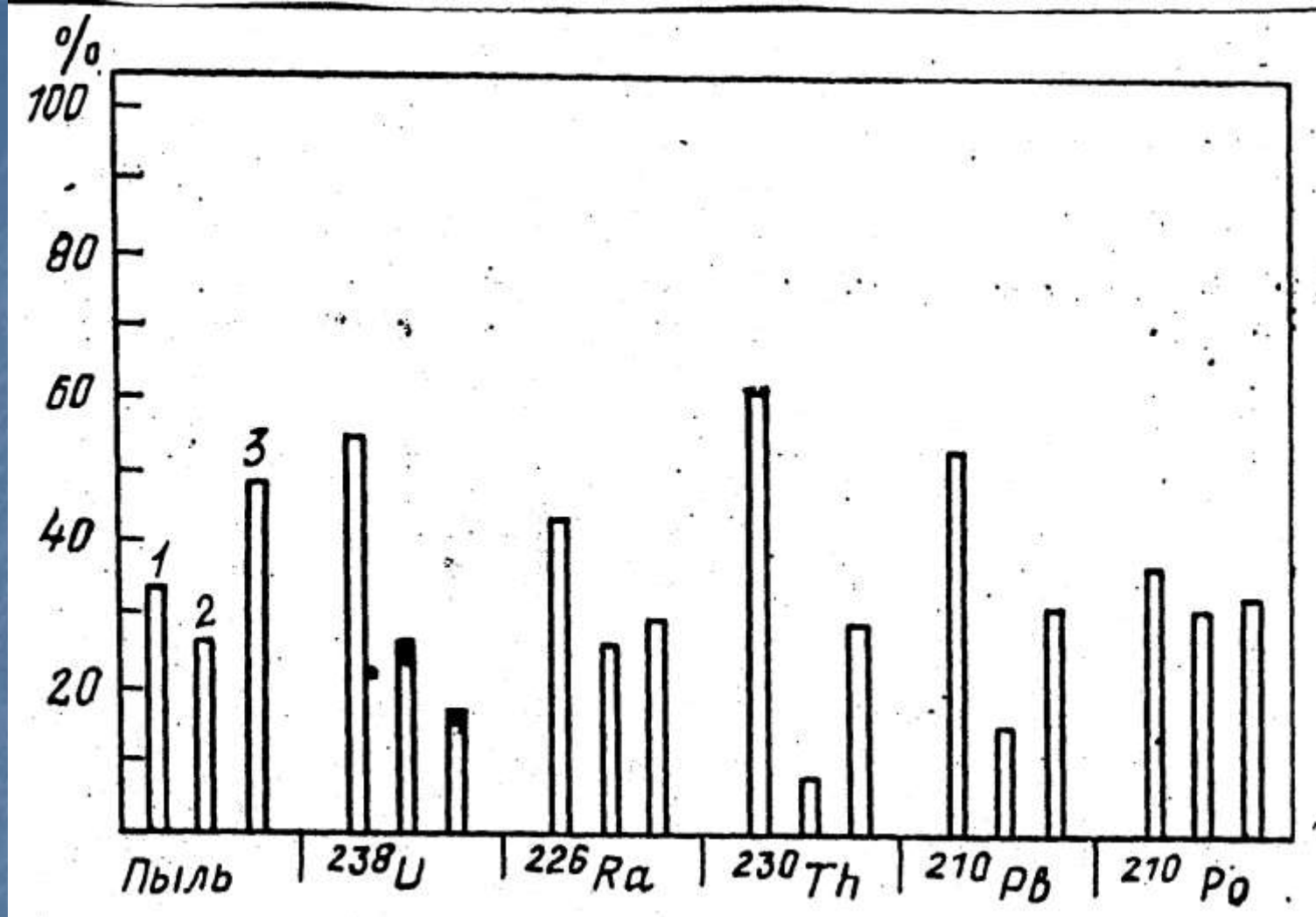
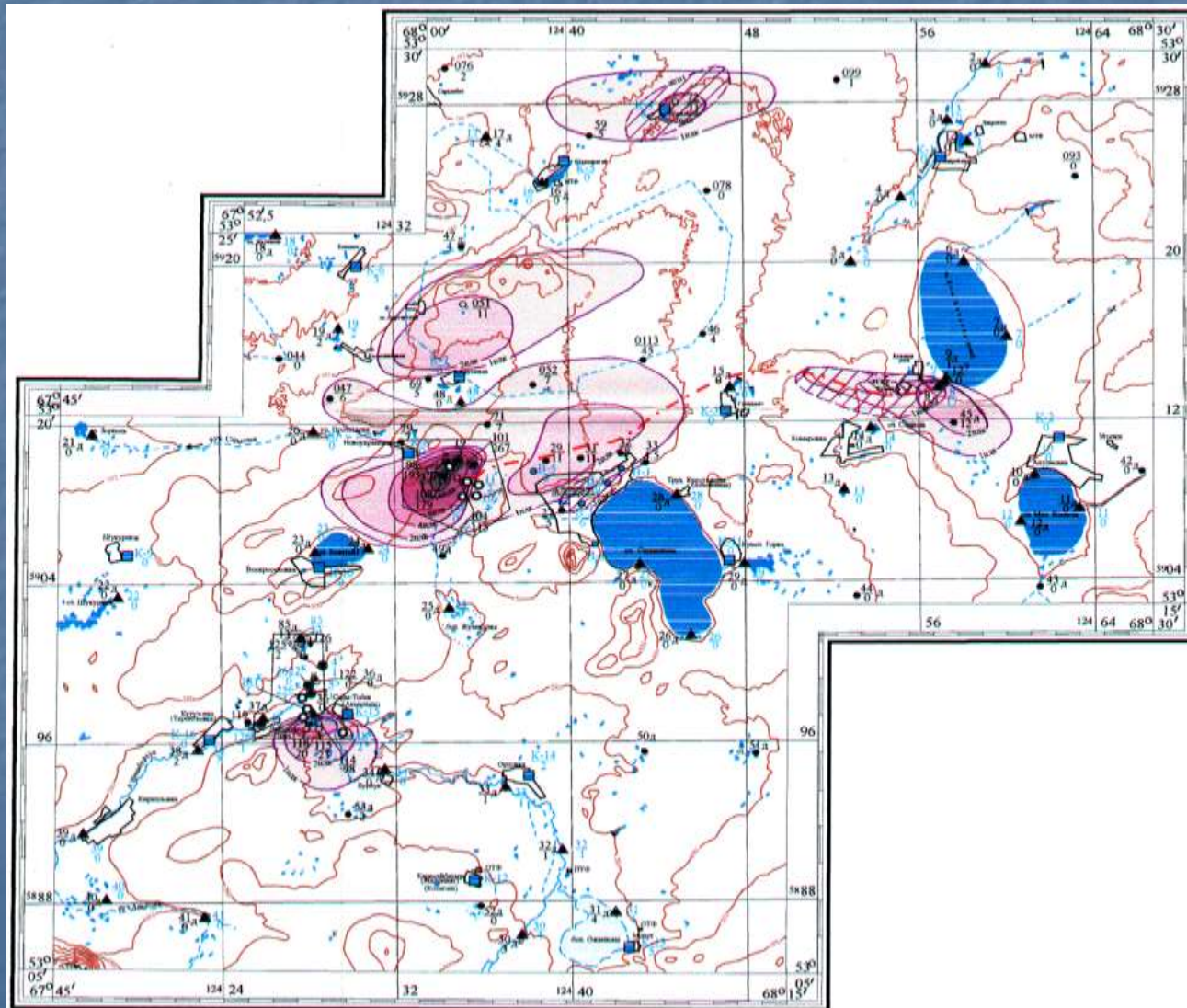


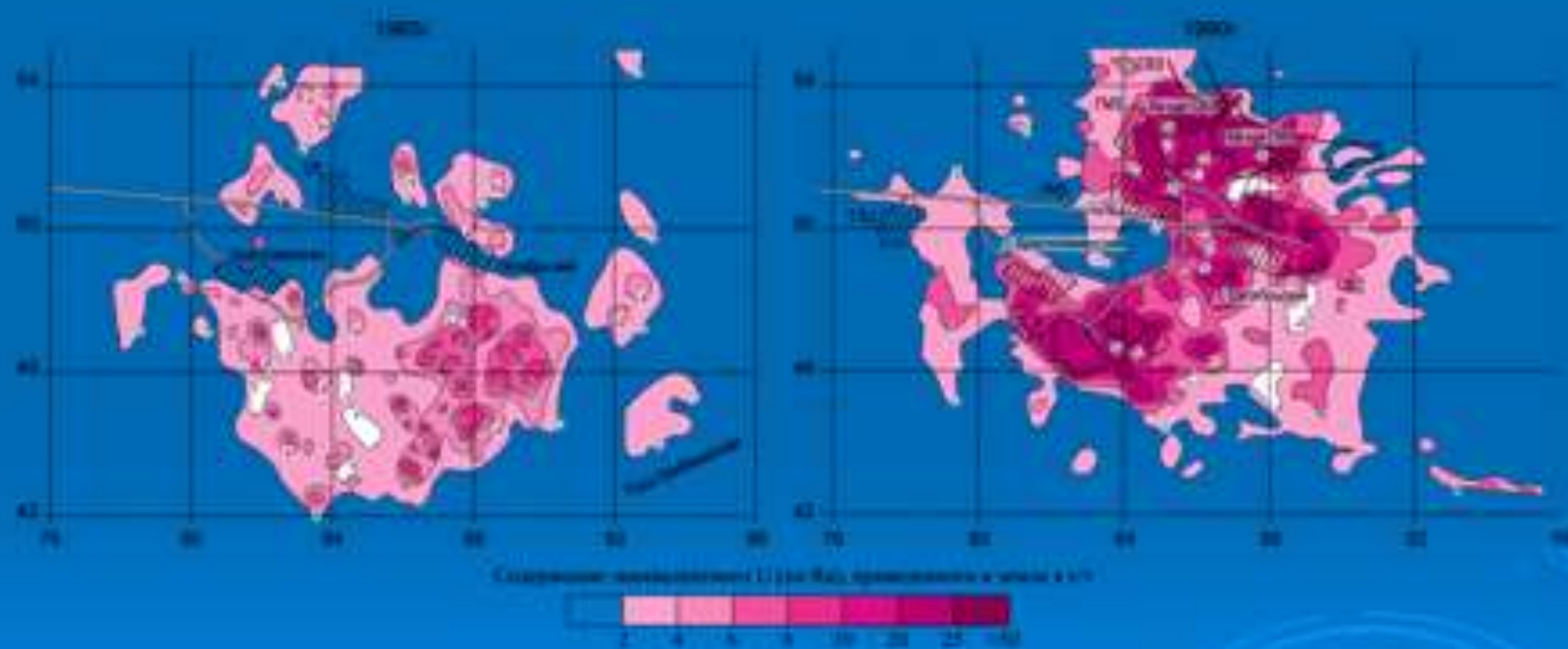
Диаграмма вредных выбросов уранодобывающего предприятия (по В.Н. Мосинцу, 1991):

1 – вентиляционные выбросы; 2 – дробильно-обогажительные фабрики, дробильно-сортировочные комплексы, радиометрические обогажительные фабрики и др.; 3 – отвалы пустых пород, склады забалансовых руд.

Радиационное загрязнение в Северном Казахстане



Уран в почвах ПГХК



Схематическая карта размещения участков радиоактивного загрязнения поверхности в результате самоизлива подземных вод при использовании метода подземного скважинного выщелачивания (по «Учебно-методическому руководству ...», 2003).



Специалисты отмечают, что влияние хвостохранилищ на радиоактивное загрязнение окружающей среды в рамках всего ядерно-топливного цикла соизмеримо с загрязнением её от АЭС и во всяком случае в десятки и сотни раз превышает влияние на окружающую среду собственно горных работ

Примером такого аэрозольного загрязнения естественными радиоактивными элементами могут быть территории гг. Усть-Каменогорска, Степногорска, Актау Приаргунского горно-химического комбината, функционирующего на базе уникальной Стрельцовской группы гидротермальных урановых месторождений (рис.) и многих других районов.

г. Усть-Каменогорск
Радиационная экология
Мощность
экспозиционной дозы
Гамма - излучения
1992 г.



Результаты аэроземки
 Изотопия проведена через
 $1,4 \cdot 10^{11}$ А/кг

фон
 безвредная
 опасная



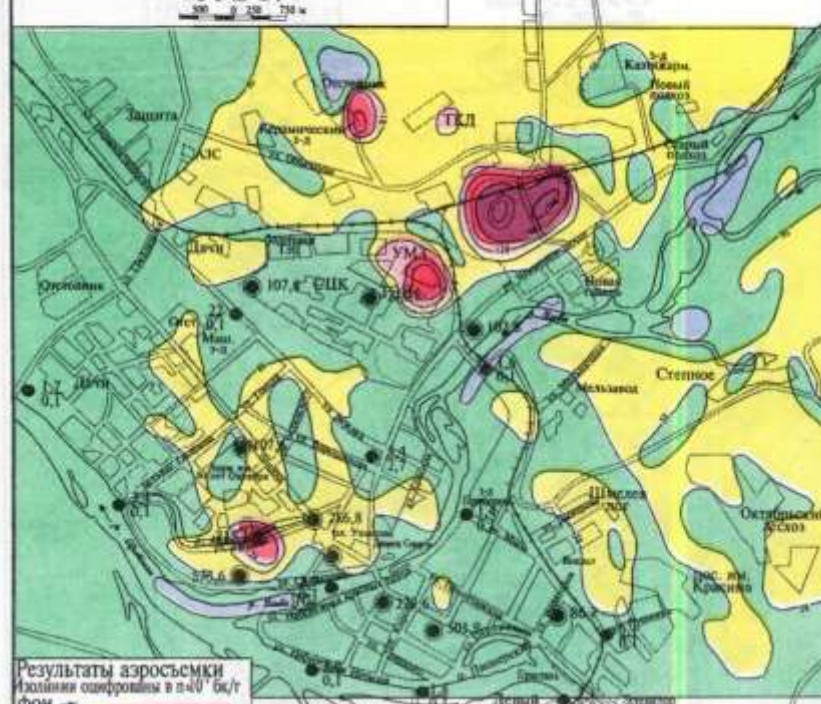
Система СИ
 7,2 10,8 14,5 21,5 28,7 35,9 71,2 10^{11} А/кг
 Внесистемная единица
 10 15 20 30 40 50 100 мкр/час
 Степень радиац. опаснос. Б
 ● к-да участок радиоактивн. загрязнения
 У точки - величина МЭД в
 $n \cdot 10^{11}$ А/кг
 ● 1,2 пункт опробов. воды:
 0,1 числитель-содержан.
 урана в $n \cdot 10^{-6}$ г/дм³;
 знаменатель содержание
 радиац.-226 в $n \cdot 10^{-11}$ г/дм³
 ПДК_н урана = $1,7 \cdot 10^{-11}$ г/дм³
 ПДК_н урана = $5,440 \cdot 10^{-11}$ г/дм³

Роза ветров
 Направление
 март 1990-1992 г.г.



1 см = 3 %
 46 штительных дней

г. Усть-Каменогорск
Радиационная экология
Удельная активность
тория 232
1992 г.



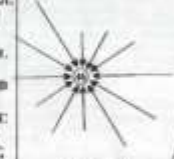
Результаты аэроземки
 Изотопия осуществлена в $n \cdot 10^{11}$ Бк/г

фон



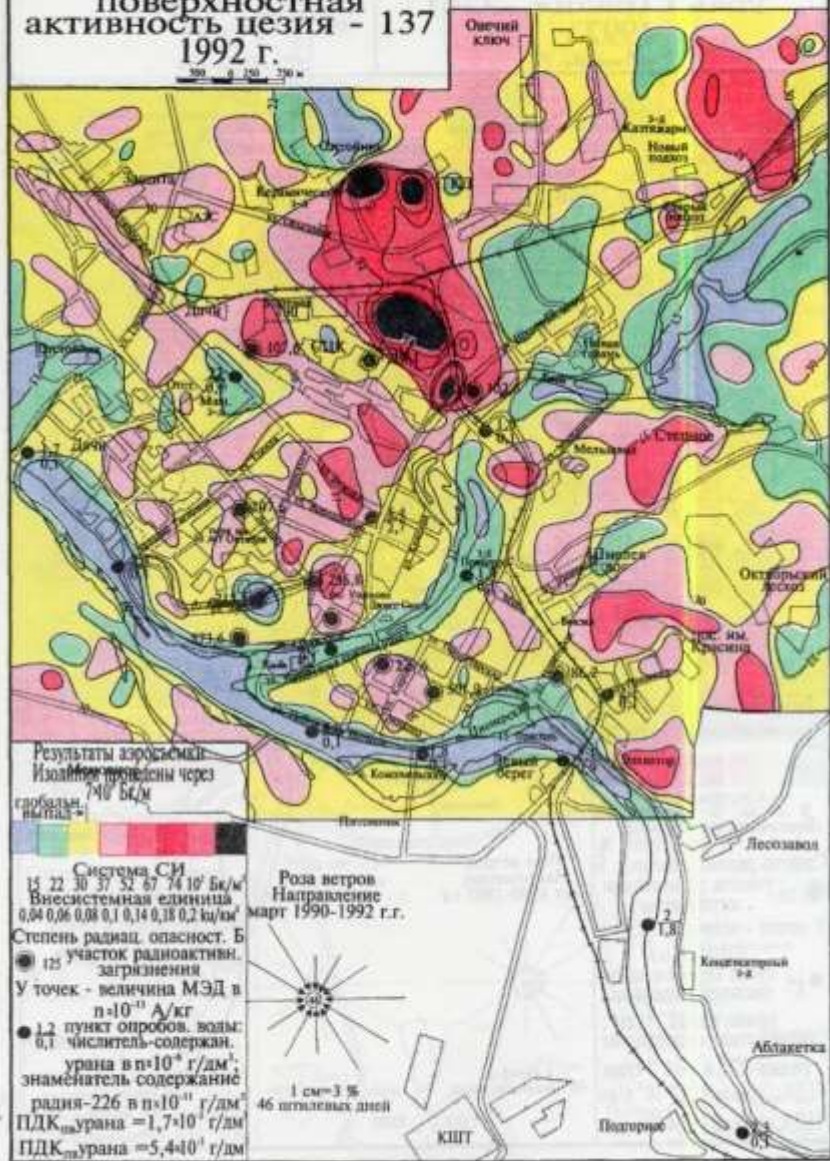
Система СИ
 34 38 81 117 233 382 1166 10^{11} Бк/г
 Внесистемная единица
 6 10 14 20 40 100 200 10^{11} Бк/г
 Степень радиац. опаснос. А
 Предельно допустим. актив-
 ность для строит. материал.
 жилых и общественных
 зданий $259 \cdot 10^{11}$ Бк/г
 ● 125 Участок радиоактивн.
 загрязнения
 У точки - величина МЭД в
 $n \cdot 10^{11}$ А/кг
 ● 1,2 пункт опробов. воды:
 0,1 числитель-содержан.
 урана в $n \cdot 10^{-6}$ г/дм³;
 знаменатель содержание
 радиац.-226 в $n \cdot 10^{-11}$ г/дм³
 ПДК_н урана = $1,7 \cdot 10^{-11}$ г/дм³
 ПДК_н урана = $5,440 \cdot 10^{-11}$ г/дм³

Роза ветров
 Направление
 март 1990-1992 г.г.

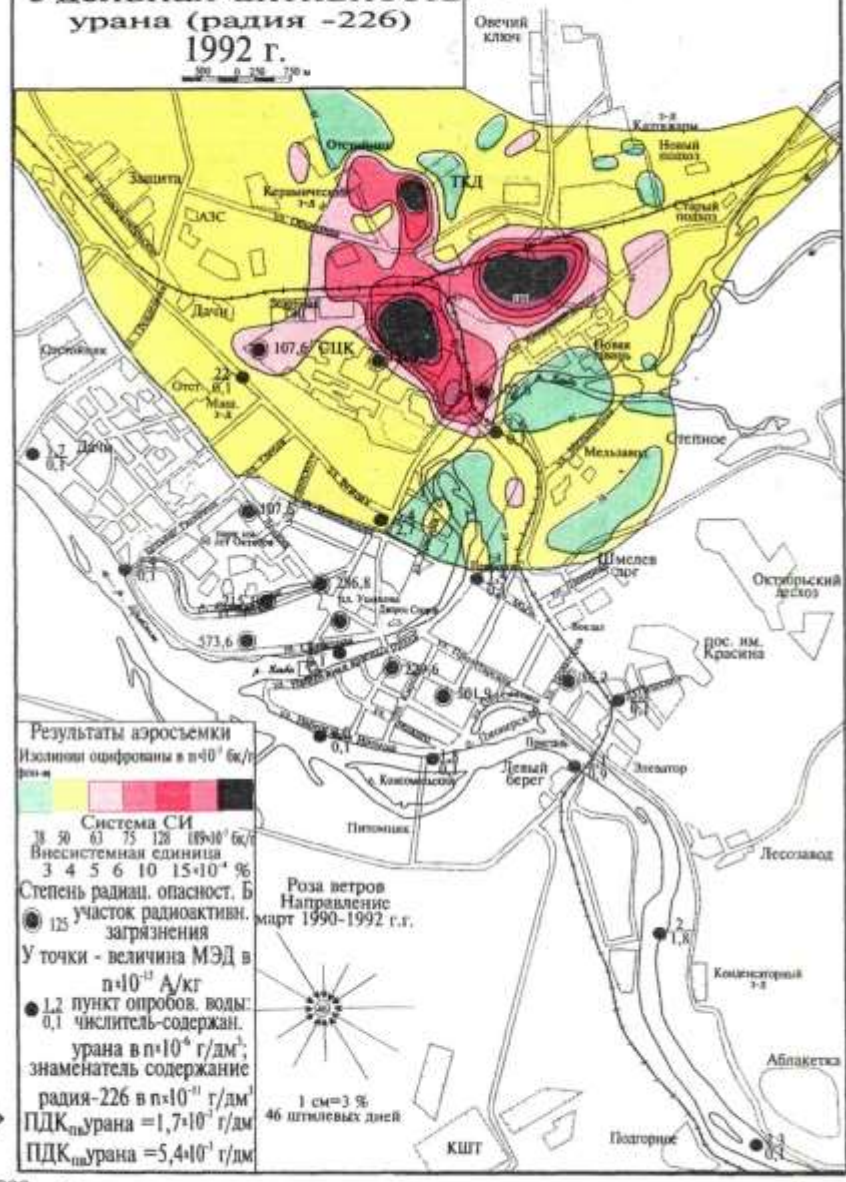


1 см = 3 %
 46 штительных дней

г. Усть-Каменогорск
Радиационная экология
Удельная
поверхностная
активность цезия - 137
1992 г.

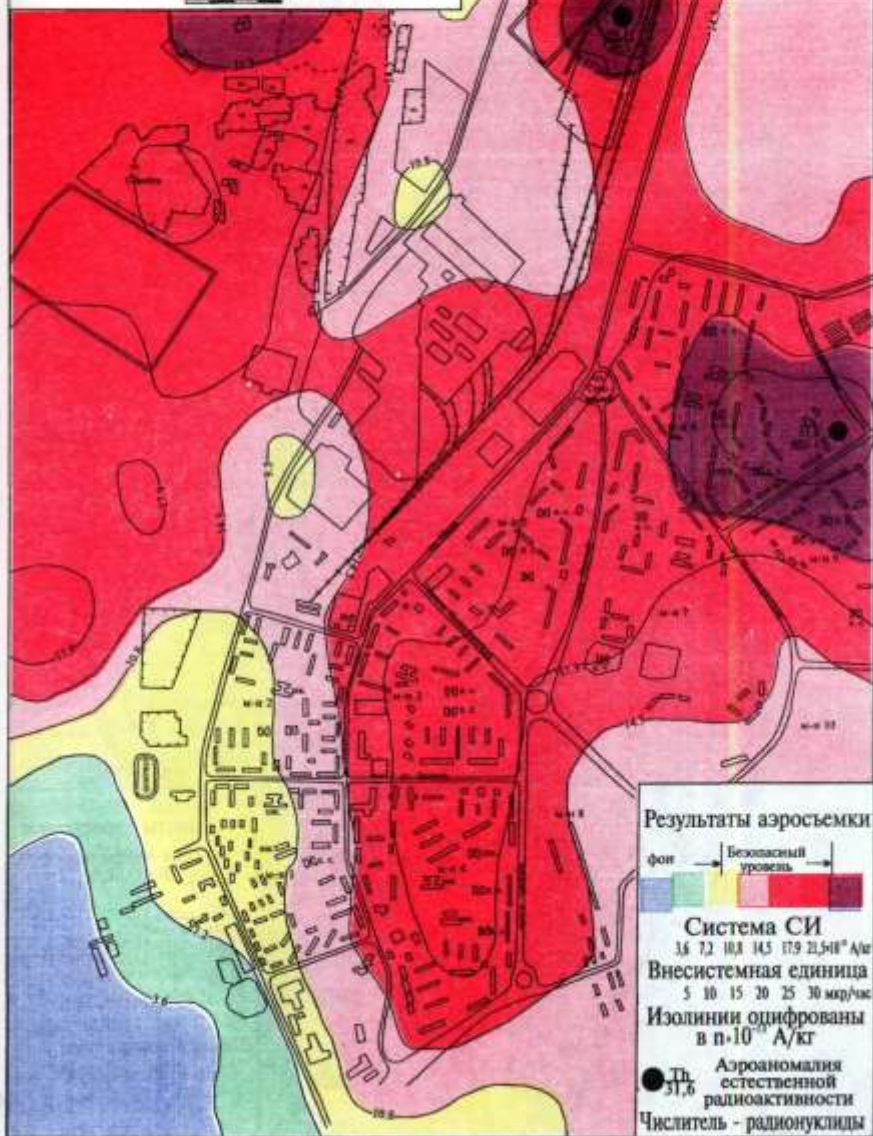


г. Усть-Каменогорск
Радиационная экология
Удельная активность
урана (радия -226)
1992 г.



г. СТЕПНОГОРСК
РАДИАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ
Мощность экспозиционной
дозы гамма-излучения
1992 г.

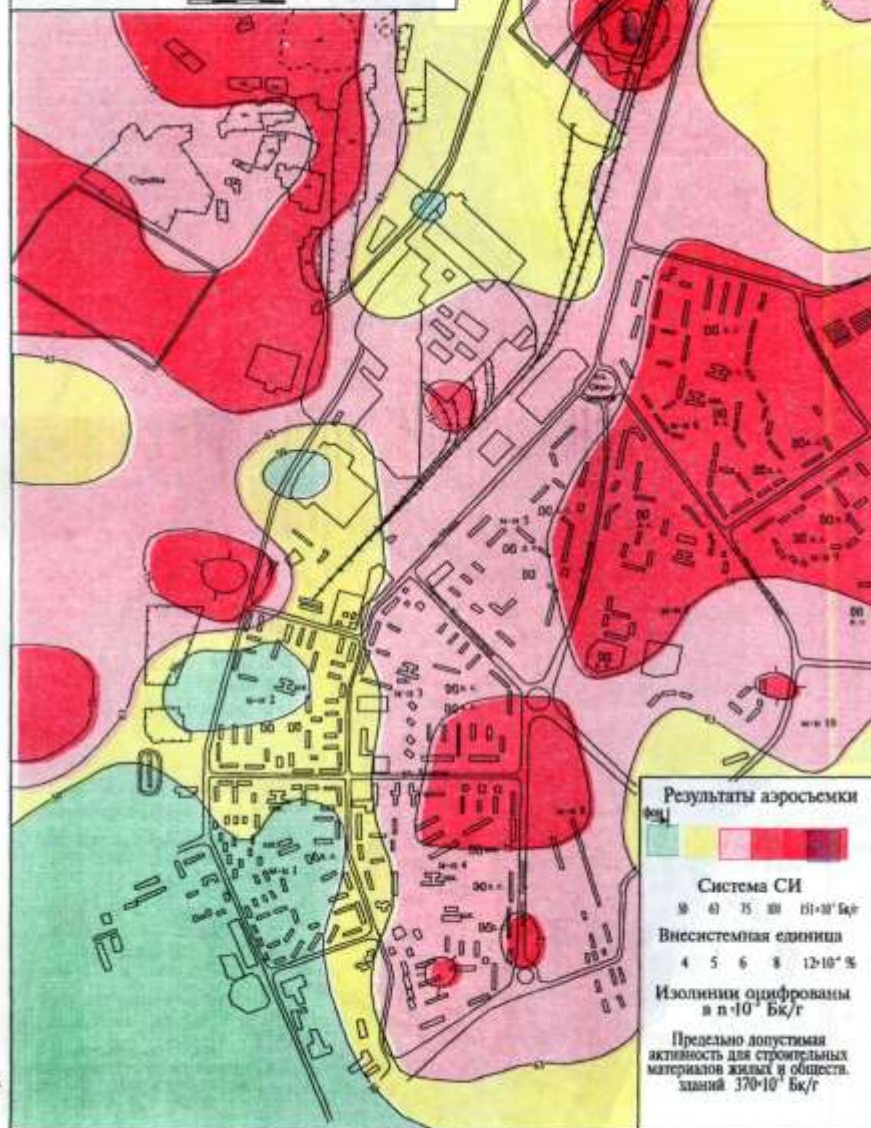
1:10 000



534

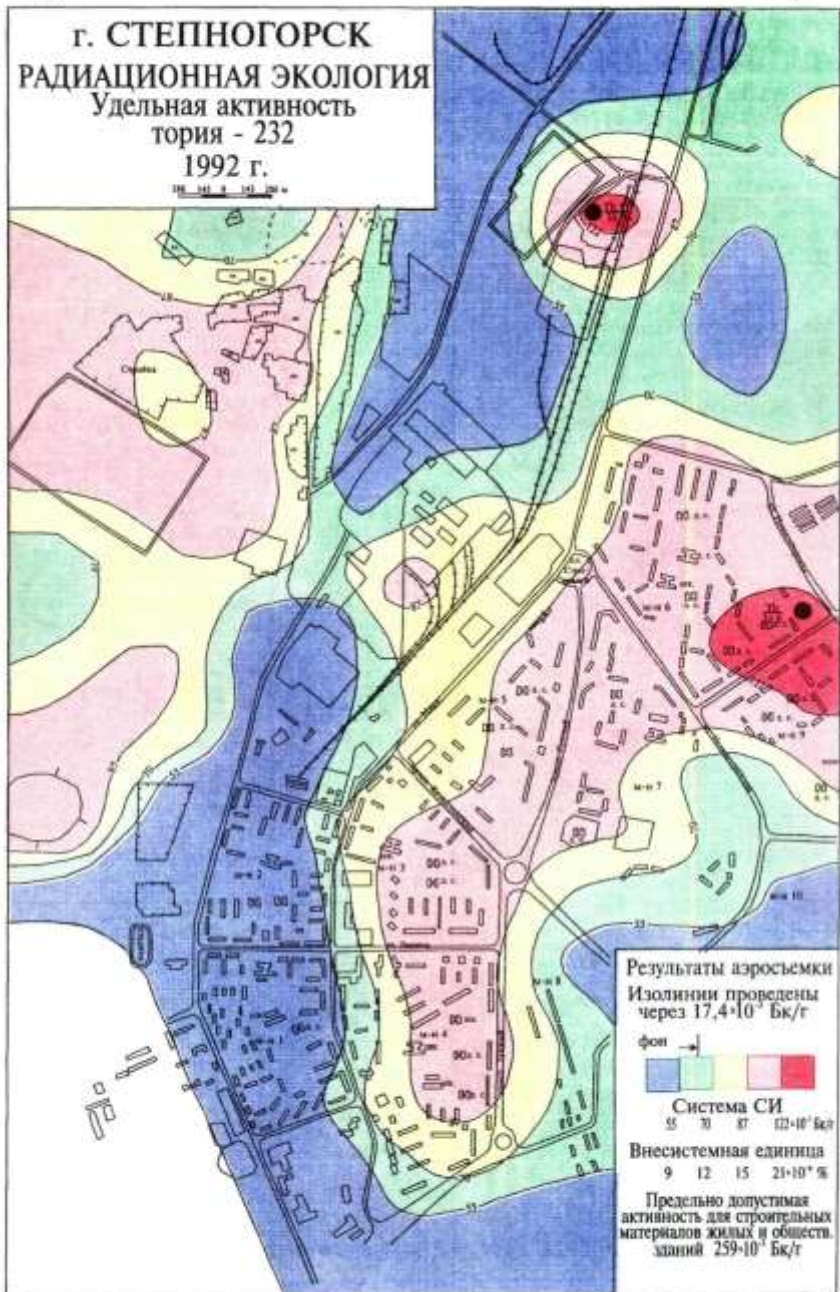
г. СТЕПНОГОРСК
РАДИАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ
Удельная активность
урана (радия - 226)
1991 г.

1:10 000



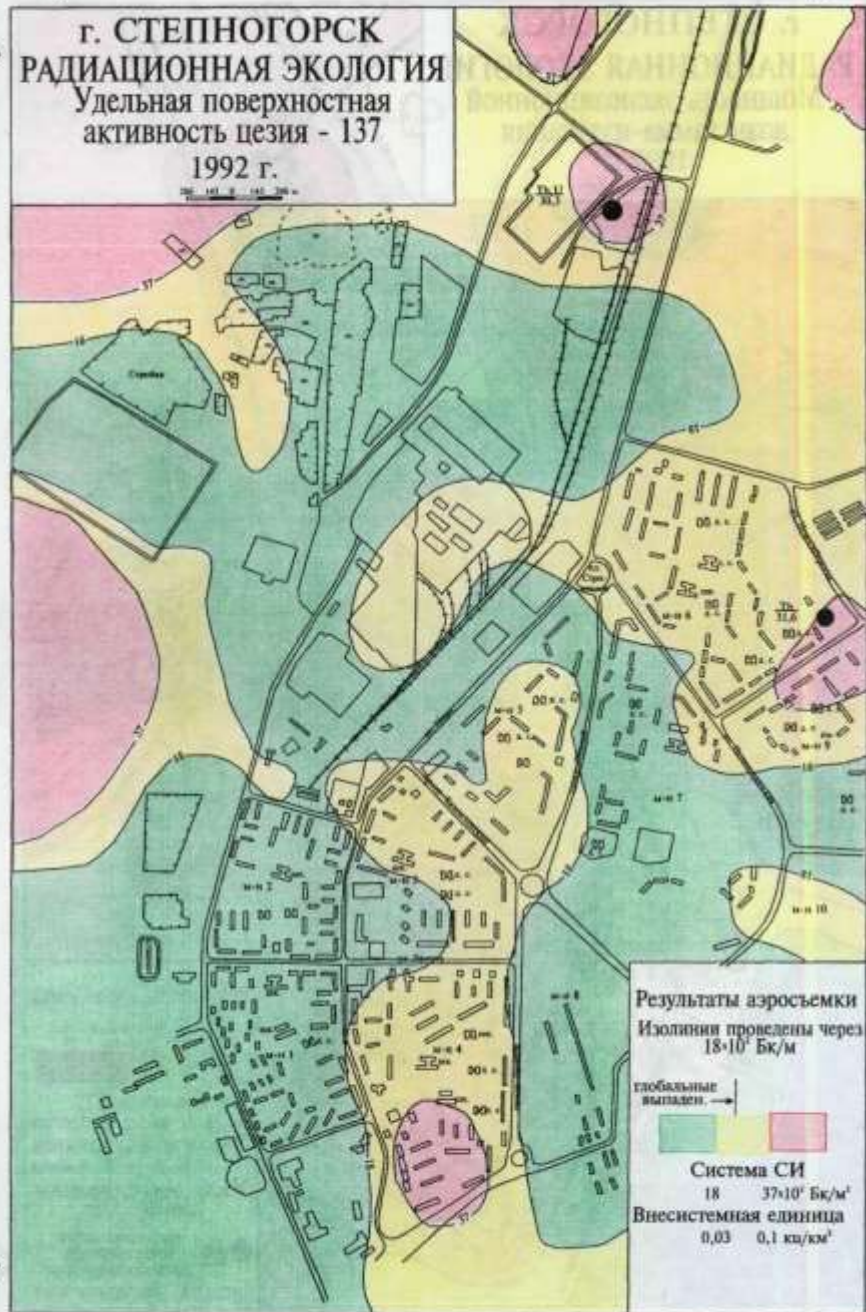
537

г. СТЕПНОГОРСК
РАДИАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ
Удельная активность
тория - 232
1992 г.



536

г. СТЕПНОГОРСК
РАДИАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ
Удельная поверхностная
активность цезия - 137
1992 г.



535

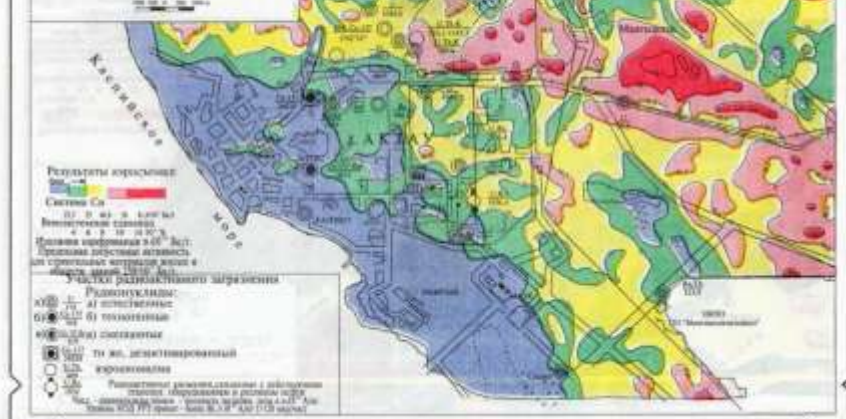
г. АКТАУ
Радиационная экология
Мощность
экспозиционной дозы
гамма-излучения
1993 г.



г. АКТАУ
Радиационная экология
Удельная активность
урана (радия - 226)
1993 г.



г. АКТАУ
Радиационная экология
Удельная активность
тория - 232
1993 г.

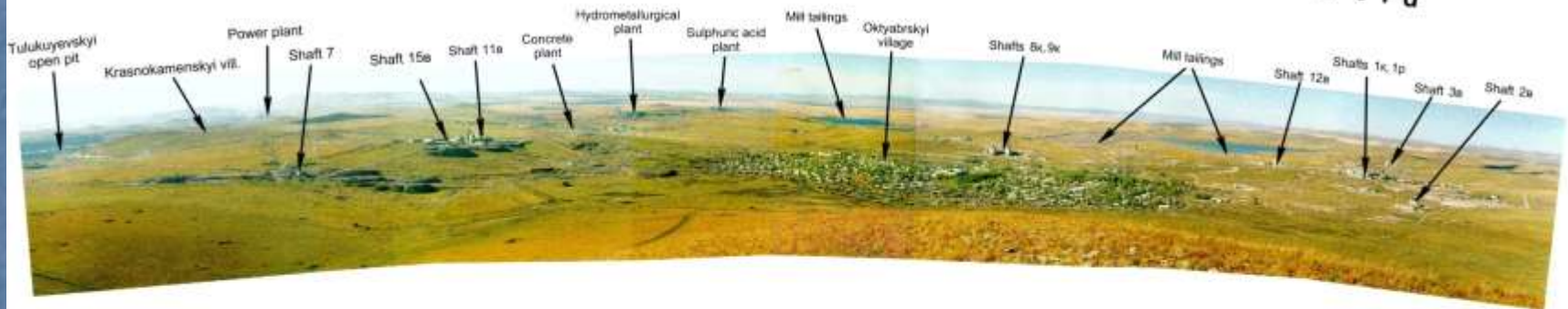


г. АКТАУ
Радиационная экология
Удельная
поверхностная активность
цезия - 137
1993 г.



Природно-техногенная система урановодобывающего комплекса Забайкалья (Приаргунский ГХК)

panorama of the Streltsovskoye uranium ore field



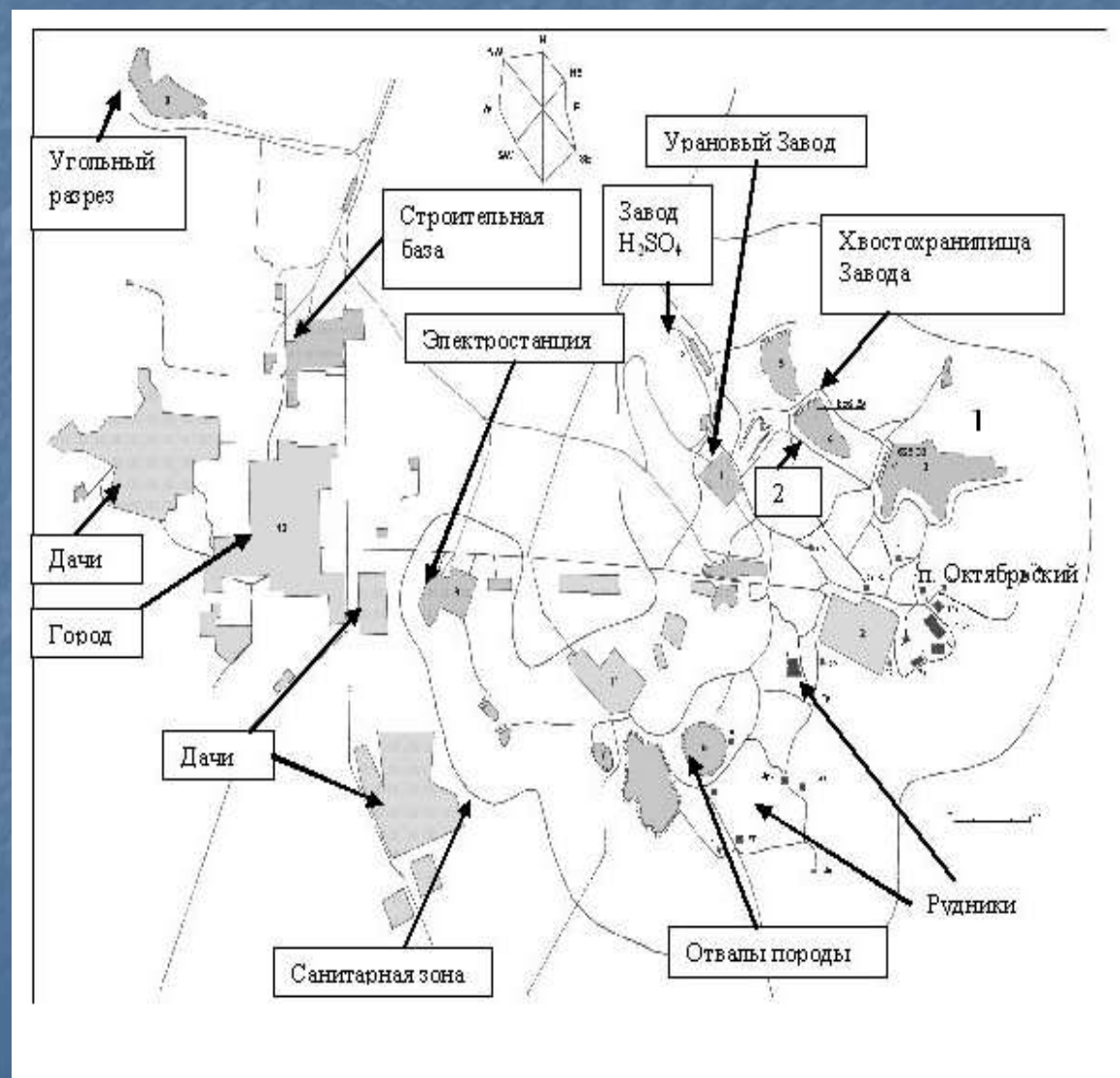
Location of the Streltsovskoye uranium ore field (SUOF)



Tulukuyev open pit



ПЛОЩАДКА "ППГХО"



Проблема первая

Согласно п. 3.12.1 "ОСПОРБ-99", жидкими радиоактивными отходами, так называемыми ЖРО, являются жидкости, суммарная удельная активность радионуклидов в которых не превышает 10 уровней вмешательства их при поступлении с питьевой водой.

Качество очищенной от ЕРН шахтной воды при существующей технологии - до 20 относительных единиц, т.е. согласно п.3.12.1.

"ОСПОРБ-99" это жидкие радиоактивные отходы, так как

$$\sum_i (A_i / УВ_i) > 10$$

где: A_i – удельная активность i -го радионуклида в воде,
 $УВ_i$ – соответствующий уровень вмешательства.

Проблема вторая наиболее существенная

С развитием Приаргунского производственного горно-химического объединения поселок Октябрьский попал в санитарно-защитную зону уранового рудоуправления (рис.).

Распределение жилья по уровням ВСЭ ДПР R_n и объемной активности R_n по данным радиационного контроля в 1991 году

ВСЭ ДПР $n \cdot 10^4$ МэВ/л	Количество квартир											Всего
	Объемная активность радона (R_n), Бк/л											
	<100	100-200	200-500	500-700	700-940	940- 1350- 13 50	1350- 1895- 18 95	1895- 2710- 27 10	2710- 3790- 37 90	3790- 4870- 48 70	>4870	
0,0-0,5	714	102	57	34	8	11	5	0	0	0	0	931
0,5-1,0	34	18	0	16	7	9	6	3	1	0	0	94
1,0-1,8	0	3	5	2	0	2	0	0	0	0	0	12
1,8-2,5	0	0	0	0	4	1	3	4	0	0	0	12
2,5-3,3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3
3,3-4,8	0	0	0	0	0	0	0	9	3	2	0	14
4,8-6,7	0	0	0	0	0	0	2	5	0	0	0	7
6,7-9,5	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3
9,5-13,3	0	0	0	0	0	0	1	4	2	0	0	7
13,3-17,1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	3
>17,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8
Кол-во квартир	748	123	62	52	19	23	23	25	8	3	8	1094

Остаточные растворы ПВ
в недрах

Оценка условий

Условия, допускающие
оставление растворов ПВ
в недрах

Условия, не допускающие
оставление растворов ПВ
в недрах

Рекомендации по ограничению ущерба

Выбор технологии:
щадящий или
пригодной для
рекультивации

Ограничение
производительности
предприятия

Утилизация
растворов в
технологическом
цикле

Меры по предупреждению и ликвидации ущерба

Обоснование объекта
эксплуатации при
наличии альтернативы

Рекультивация
водоносного
горизонта

Подземное
захоронение
остаточных
растворов