

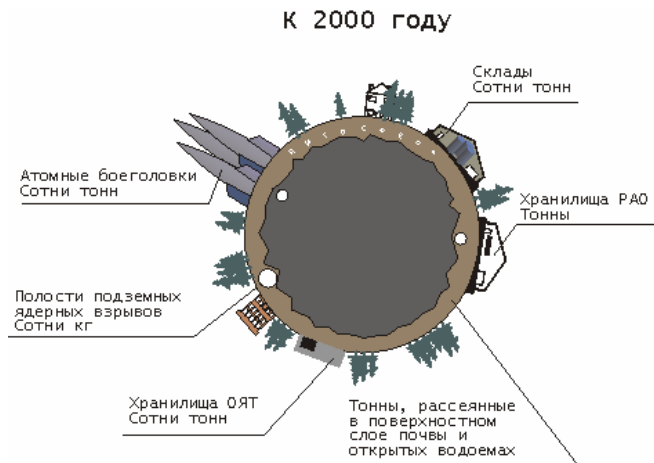
## 12. РАДИОЭКОЛОГИЯ ПЛУТОНИЯ

Величины периодов полураспада всех изотопов плутония много меньше возраста Земли, и поэтому весь первичный плутоний (существовавший на нашей планете при её формировании) полностью распался. Однако ничтожные количества  $^{239}\text{Pu}$  постоянно образуются при  $\beta$ -распаде  $^{239}\text{Np}$ , который, в свою очередь, возникает при ядерной реакции  $^{238}\text{U}$  с нейтронами (например, нейтронами космического излучения). Концентрация плутония определяется вековым равновесием. Следы (количество - одна часть на  $10^{15}$ ) обнаружены в урановых рудах. Найденная в канадской смоляной руде и карнотите  $\alpha$ -активность обязана  $^{239}\text{Pu}$ , образовавшемуся из  $^{238}\text{U}$  при нейтронном захвате. В урановой руде Конго (Африка) один грамм плутония приходится на 4 млн. т урана. Содержание  $^{239}\text{Pu}$  в смоляных и монацитовых рудах колеблется в небольших пределах:  $^{239}\text{Pu}:\text{U}=(0,7-2)\cdot 10^{-11}$ .  $^{239}\text{Pu}$  образуется из  $^{238}\text{U}$  под действием нейтронов, возникающих при спонтанном делении  $^{238}\text{U}$ , и также при делении  $^{235}\text{U}$  и в результате реакций ( $\alpha, n$ ) на лёгких элементах. Чрезвычайно малые количества  $^{244}\text{Pu}$  (самого долгоживущего изотопа плутония,  $T=80$  миллионов лет) были обнаружены в цериевой руде, по видимому, оставшиеся там со времен формирования Земли.



**Рис. 78.** Уран-бериллиевый природный минерал, содержащий плутоний.

Можно вспомнить и такой природный источник плутония, как ядерный реактор в Окло (Африка), действовавший в естественных условиях многие миллионы лет назад на богатейшем урановом месторождении. Наконец, плутоний образуется из урана при действии всепроникающих космических лучей. Плутоний на нашей планете был всегда, причем раньше его было гораздо больше - значительная часть за прошедшие миллиарды лет распалась. В малых количествах уран рассеян везде: в гранитах, фосфоритах, апатитах, морской воде, почве и т.д., так что говорить об абсолютной чужеродности плутония для биосферы не вполне корректно.



**Рис. 79.** Плутоний в природе в 2000 г.

До пуска в 1942 первого ядерного реактора Э.Ферми в г. Чикаго США, во всей Земной коре и растворенном виде в воде Мирового океана находилось менее 50 кг плутония. В ходе развития ядерных технологий, за счет несовершенных технологий переработки плутоний попал в окружающую среду в местах расположения ядерных производств.

**Табл. 58.** Содержание плутония в ториевых рудах

Руда	U%	$\frac{^{239}\text{Pu}}{\text{U}} \cdot 10^{12}$
Канадская урановая смоляная руда	13,5	7,1
Урановая смола Бельгийского Конго	38,0	12,0
Урановая смоляная руда Колорадо	50,0	7,7
Бразильский монацит	0,24	8,3
Монацит Северной Каролины	1,64	3,6
Колорадский фергусонит	0,25	<4
Колорадский карнотит	10	<4

Как было сказано, в экосфере Земли природные источники плутония практически отсутствуют. Однако, действуют техногенные источники: аварии на АЭС, атомных подводных лодок, некоторых космических аппаратов, деятельность предприятий ядерной индустрии, возрастающее использование изотопов плутония в науке и технике. Сказываются и последствия ядерных испытаний. Например, в результате ядерных испытаний в середине 20-го века, в атмосферу выделилось 7-10 т суммы изотопов плутония. Испытания в 1945-1976 гг. привели к выбросу в окружающую среду изотопов плутония  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$  - 13 ТБк,  $^{241}\text{Pu}$  - 360 ТБк, и 0,13 ТБк других трансураниевых элементов.

**Замечание.** Испытание СССР атомного оружия внесло заметный вклад в поступление плутония в биосферу. Общее энерговыделение 715 ядерных испытаний СССР составило 285 мегатонн, 1056 испытаний США - 193 мегатонны. На поверхность Земли выпало 3,9 т плутония.

В 1964 при сгорании спутника в атмосферу попало 0,63 ТБк  $^{238}\text{Pu}$ , что вдвое увеличило концентрацию его в атмосфере. Были и другие аварии

**Табл. 59.** Содержание плутония в различных рудах.

Руда	Содержание урана в руде, %	Отношение $Pu^{239}$ : руда	Отношение $Pu^{239}$ : уран
<i>Урановая смоляная руда</i>			
Канадская . . . . .	13,5	$9,1 \cdot 10^{-13}$	$7,1 \cdot 10^{-12}$
Из Бельгийского Конго	38	$4,8 \cdot 10^{-12}$	$12 \cdot 10^{-12}$
Из Колорадо . . . . .	50	$3,8 \cdot 10^{-12}$	$7,7 \cdot 10^{-12}$
<i>Монацит</i>			
Бразильский . . . . .	0,24	$2,1 \cdot 10^{-14}$	$8,3 \cdot 10^{-12}$
Из Северной Каролины	1,64	$5,9 \cdot 10^{-14}$	$3,6 \cdot 10^{-12}$
<i>Фергусонит</i>			
Из Колорадо . . . . .	0,25	$< 1 \cdot 10^{-14}$	$< 4 \cdot 10^{-12}$
<i>Карнотит</i>		$\leq 4 \cdot 10^{-14}$	$\leq 0,4 \cdot 10^{-12}$

В результате выпадения радиоактивных осадков почва США стала содержать 2 мКи (28 мг) плутония на км<sup>2</sup> от выпадения радиоактивных осадков.

В настоящее время основным резервуаром плутония является почва и донные отложения водоёмов (более 99% количества, поступившего во внешнюю среду). Плутоний мигрирует в форме растворимых органокомплексов, нитратов. В основном (99%) откладывается в придонных отложениях и поверхностных слоях почвы. В биологических компонентах экосистем содержится менее 1%. Наибольшая концентрация Pu приходится на низкорослые растения, травы, грибы, мхи, лишайники. В зависимости от источника поступления и состава почвы до 10% плутония может находиться в растворимой форме, доступной для усвоения растениями. Обычно плутоний очень плохо (с коэффициентами  $10^{-5}$  -  $10^{-8}$ ) переходит из почвы в растения. Он быстро и прочно фиксируется частицами почвы, а затем медленно мигрирует с водными потоками. Попавший в моря и океаны плутоний постепенно осаждаётся и закрепляется в донных слоях. В природных водах плутоний адсорбируется на коллоидных частицах гидроксида железа и мигрирует с ними. Загрязнённая вода, из-за предрасположенности плутония к осаждению из водных растворов и к формированию нерастворимых комплексов с остальными веществами, имеет тенденцию к самоочищению.

Миграция плутония в природной среде связана с растворимостью его соединений в природных средах, что имеет решающее значение в перемещении нуклида в цепи: почва (вода) → растения → животные → человек. При испытаниях ядерного оружия плутоний поступал в природную среду в форме оксидов и отдельных атомов. Тугоплавкие оксиды плутония практически нерастворимы. Плутоний в выбросах атомной энергетики (переработка отработанного топлива) представлен в основном растворимыми формами, а также комплексными соединениями с органическими лигандами.

Сейчас установлены следующие временные нормы содержания радионуклидов в почве: до 15 Ки/км<sup>2</sup> - цезия-137, 3 - стронция-90 и 0,1 Ки/км<sup>2</sup> - плутония.

В некоторых регионах загрязнены поверхностные воды суши, что, помимо угрозы природной экосфере, создаёт проблемы при использовании таких вод для полива сельскохозяйственных растений и в качестве питьевых вод для животных и человека.

Прекращение ядерных испытаний и процессы ядерного разоружения резко снизили поступление плутония в питьевую воду. Однако применение радионуклидов в медицине и промышленности, а также использование атомной энергии для производства электроэнергии привело к проникновению некоторых радионуклидов в водную среду, понизив качество некоторых поверхностных вод. Поскольку радионуклиды в питьевой воде создают риски для здоровья людей, то содержание плутония в питьевой воде строго нормируется законами и правилами.

Согласно международным правилам, предельно допустимый уровень загрязнения (ПДУ) по суммарной радиоактивности  $\alpha$ -частиц, куда входят  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  и все другие  $\alpha$ -излучающие радионуклиды в целом, за исключением урана и радона, составляет 15 пикоКи/л воды. Для  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{228}\text{Ra}$  существует общий подуровень, который составляет 5 пикоКи/л воды (куда входит весь природный  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{228}\text{Ra}$ ). Например, если в воде присутствует только  $^{239}\text{Pu}$ , уровень загрязнения может составлять до 15 пикоКи/л, при условии, что отсутствуют другие, указанные в нормах,  $\alpha$ -излучающие радионуклиды. Если  $^{226}\text{Ra}$  присутствует в предельно допустимой дозе 5 пикокюри на один литр воды<sup>3</sup>, тогда, в соответствии с нормой, максимально допустимый уровень загрязнения для суммарной  $\alpha$ -активности составляет 10 пикоКи/л. ПДУ загрязнения  $\alpha$ -

излучающими долгоживущими трансурановыми радионуклидами был установлен при дозе для костей, равной менее 4 миллбэр в год.

По российским законам предельно допустимая концентрация для  $^{239}\text{Pu}$  в открытых водоемах 81,4 Бк/л.

Согласно НРБ99, при аварии, повлекшей за собой радиоактивное загрязнение обширной территории, на основании контроля и прогноза радиационной обстановки устанавливается зона радиационной аварии. В зоне радиационной аварии проводится контроль радиационной обстановки и осуществляются мероприятия по снижению уровней облучения населения. Принятие решений о мерах защиты населения в случае крупной радиационной аварии с радиоактивным загрязнением территории проводится на основании сравнения прогнозируемой дозы, предотвращаемой защитным мероприятием, и уровней загрязнения с уровнями А и Б, приведенными в **Табл.** для плутония. Если уровень облучения, предотвращаемого защитным мероприятием, не превосходит уровень А, нет необходимости в выполнении мер защиты, связанных с нарушением нормальной жизнедеятельности населения, а также хозяйственного и социального функционирования территории. Если предотвращаемое защитным мероприятием облучение превосходит уровень А, но не достигает уровня Б, решение о выполнении мер защиты принимается по принципам обоснования и оптимизации с учетом конкретной обстановки и местных условий. Если уровень облучения, предотвращаемого защитным мероприятием, достигает и превосходит уровень Б, необходимо выполнение соответствующих мер защиты, даже если они связаны с нарушением нормальной жизнедеятельности населения, хозяйственного и социального функционирования территории.

**Табл. 60.** Критерии для принятия решений об ограничении потребления загрязненных продуктов питания в первый год после возникновения аварии

Радионуклиды	Удельная активность радионуклида в пищевых продуктах. кБк/кг	
	уровень А	уровень Б
$^{131}\text{I}$ , $^{134}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$	1	10
$^{90}\text{Sr}$	0,1	1,0
$^{238}\text{Pu}$ , $^{239}\text{Pu}$ , $^{241}\text{Am}$	0,01	0,1

В настоящее время имеет место некоторое среднее фоновое загрязнение поверхности Земли техногенным плутонием. На этом фоне выделяются местности с повышенным загрязнением – район аварии на Чернобыльской АЭС, окрестности радиохимических предприятий (Челябинская и Красноярская области), полигоны для испытания атомного оружия (Семипалатинск, Новая Земля), воды, окружающие затонувшие атомные подводные лодки, и некоторые другие). К 1958 году, по данным ООН, в атмосферу выброшено 8-10 тонн  $^{239}\text{Pu}$ , в том числе радиохимическими заводами более 1,5 тонн, в результате аварий космических аппаратов около 0,5 тонн, остальной вклад дали испытания ядерного оружия в атмосфере. Уровень глобального загрязнения плутонием почвы колеблется от 30 до 300 Бк/м<sup>2</sup>. Максимальные значения относятся к районам расположения радиохимических предприятий и ядерных аварий.

Уровень загрязнения плутонием почв некоторых стран северного полушария показан в **Табл. 61.** На 2001 активность плутония, обусловленная глобальными выпадениями, в почвах различных регионов России попадала в диапазон 0,02-1,0 Бк/кг

**Табл. 61.** Загрязнение плутонием почв некоторых стран и территорий, Бк/м<sup>2</sup>

Страна, территория	Плотность загрязнения
Великобритания	33-122
Ирландия	33-127
Россия: район Ленинградской АЭС	114-262
Россия: район Белоярской АЭС	116-183
ФРГ	67-148
Япония	90
Россия: район ПО "Маяк" (в радиусе 350 км)	до 1400
Украина: 30-км зона Чернобыльской АЭС	>3700

В СССР наибольшее количество испытаний производилось на Новой Земле. В результате к началу 1990-х загрязнение почв отдельных участков архипелага Новая Земля плутонием составило от 500 Бк/кг до

950 Бк/кг. А радиоактивные выпадения достигали Якутии и Байкала. Но испытания не ограничивались только наземными взрывами. На территории СССР под землей было произведено 115 взрывов, некоторые из которых сопровождалось выбросами в окружающую среду радиоактивных веществ.

Более 99% плутония, поступившего в окружающую среду, депонируется в поверхностных слоях почвы и в речных отложениях. Считают, что тип почвы не влияет на величину удельной активности плутония, который она содержит. Плутоний относится к числу малоподвижных элементов, его перераспределение по поверхности Земли происходит преимущественно за счет ветрового переноса и эрозии почв.

Плутоний практически не поступает из почвы в растения и относится к радионуклидам с очень низкой биологической подвижностью. Основная опасность загрязнения плутонием растений - поверхностное (первичное и вторичное) радиоактивное загрязнение. Зафиксировано несколько случаев загрязнения шляпок грибов пылинками различной дисперсности, содержащими плутоний, которые прочно зафиксировались на грибах, очевидно, при выходе их из-под поверхностного слоя земли. Фиксация пылинок загрязненной земли характерна для маслят, сыроежек, зеленушек, груздей и пр. Постепенно плутоний переходит в ионное состояние и становится более подвижным, а пятна радиоактивного загрязнения, связанные с  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{240}\text{Pu}$  медленно «расползаются», загрязняя (вторично) новые территории.

Пределы поверхностного загрязнения почвы, установленные комиссией по ядерному регулированию США для условий нормальной эксплуатации предприятий ядерно-топливного цикла, равны  $100 \text{ Бк/м}^2$ , пределы отечественной системы гражданской обороны для зоны "опасного загрязнения", в которой не допускается пребывание населения –  $1 \cdot 10^6 \text{ Бк/м}^2$

Сильное загрязнение изотопами плутония почв Украины и Белоруссии произошло после аварии на Чернобыльской АЭС.

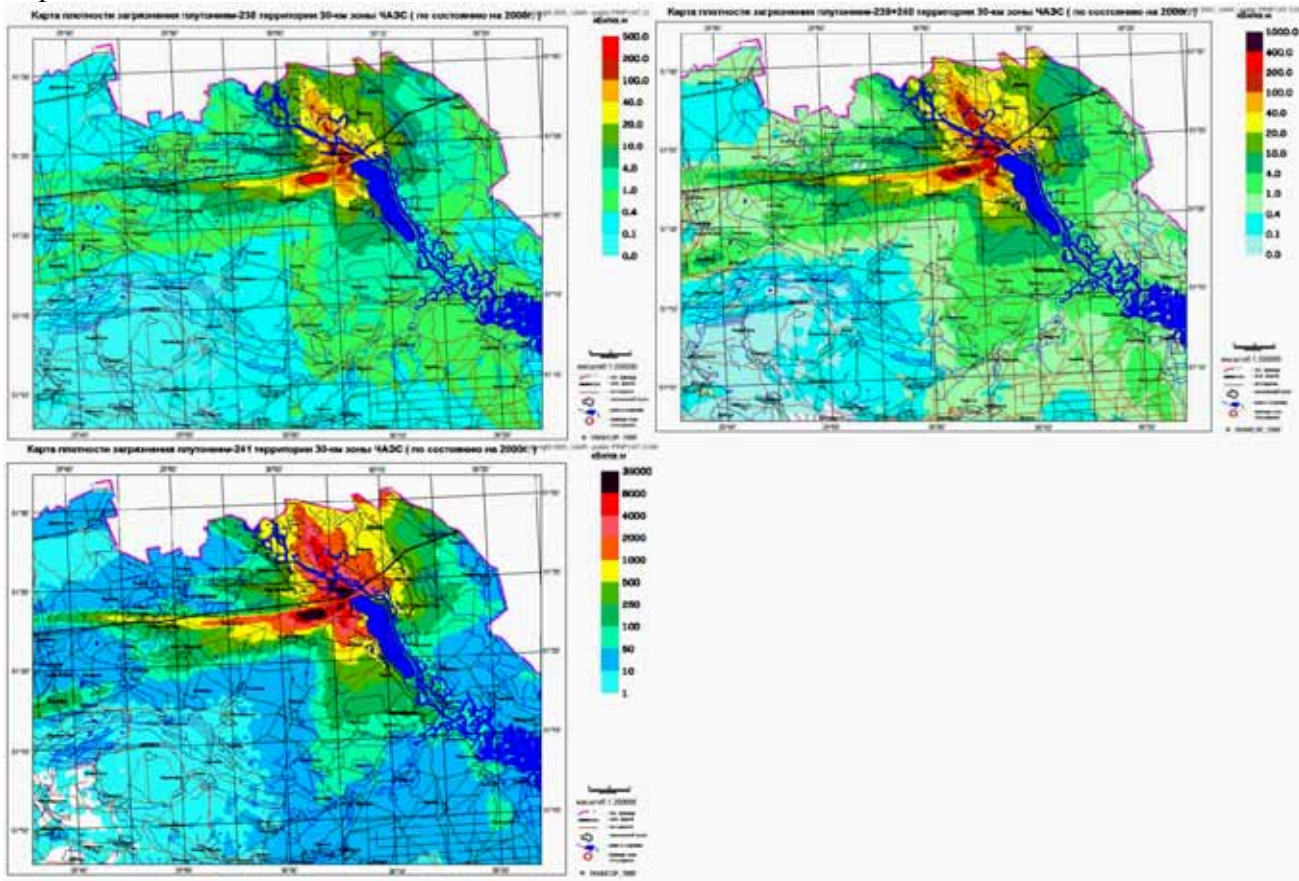


Рис. 80. Загрязнение почв Украины изотопами плутония (2000).



Рис. 81. Содержание плутония 238, 239, 240 в почве на территории Белоруссии на 01.01.1995.

Загрязнение почвы изотопами плутония ( $^{238}, ^{239}, ^{240}\text{Pu}$ ) с плотностью более  $0,37 \text{ кБк/м}^2$  охватывает  $4,0 \text{ тыс. км}^2$ , или 2% площади Белоруссии. Эти территории преимущественно находятся в Гомельской области и Чериковском районе Могилевской области. Загрязнение изотопами плутония с высокой плотностью характерно для 30-км зоны ЧАЭС. Наиболее высокие

уровни наблюдаются в Хойникском районе - более 111 кБк/м<sup>2</sup>.

Удельная активность плутония в верхнем слое почвы на территориях Брянской области, загрязнённых в результате Чернобыльской аварии, в 1992 находилась в интервале от 2,7 до 7,8 Бк/кг. Загрязнение плутонием почв на Семипалатинском испытательном полигоне в радиусе до 150-200 км от места проведения испытаний в 1990 составляла 20 Бк/кг.

В России деятельность Горно-химического комбината (ГХК) по производству оружейного плутония привела к загрязнению почв некоторых регионов Красноярского края. Загрязнение плутонием обусловлено, главным образом, изотопами <sup>239, 240</sup>Pu. Территория Красноярского края может быть разделена на три группы почв, различающиеся по уровню загрязнения плутонием: 1) почвы в границах 20-км зоны ГХК, 2) пойма Енисея протяженностью до 1500 км от г. Железногорска вниз по течению реки и 3) остальная территория (Табл. ). Основными источниками загрязнения плутонием почв края являются: 1) глобальные выпадения из атмосферы, связанные с испытаниями ядерного оружия; 2) газо-аэрозольные выбросы ГХК; 3) сбросы вод охлаждения реакторов ГХК. Распределение плутония в вертикальных разрезах пойменных почв и аллювиальных отложений Енисея крайне неравномерно. Максимальные активности плутония, как правило, фиксируются в маломощном слое, который может находиться как на поверхности, так и быть заглубленным до 100-140 см.

**Табл. 62.** Районирование территорий Красноярского края и Республики Хакасия по уровню загрязнения почв плутонием

Территория	Активность, Бк/кг
1. Почвы Красноярского края вне зоны влияния ГХК (фоновый уровень)	0,34
Для справки: почвы Республики Хакасия (фоновый уровень)	0,27
2. Почвы Красноярского края в границах 30-км зоны ГХК (без пойменных почв в долине Енисея)	0,68

Как известно, по отношению удельных активностей <sup>238</sup>Pu/<sup>239,240</sup>Pu можно судить об источниках загрязнения плутонием объектов окружающей среды. Известно, что для оружейного плутония это отношение не превосходит 0,04; для плутония глобальных выпадений оно несколько больше и достигает 0,08. Еще более высокие значения характерны для газо-аэрозольных выбросов атомных электростанций (в районе Ленинградской АЭС это отношение равно 0,1-0,2). Максимальных значений отношение достигает в аварийных выбросах (в первые дни после Чернобыльской катастрофы отношение <sup>238</sup>Pu/<sup>239,240</sup>Pu в атмосферном воздухе достигало 0,65; в настоящее время в почвах Брянской области, загрязнённых чернобыльским плутонием, оно колеблется от 0,33 до 0,59).

В Красноярском крае в пробах почв и донных отложений отношение <sup>238</sup>Pu/<sup>239,240</sup>Pu колеблется в пределах от 0,013 до 0,39. К первому типу (оружейный плутоний) относятся высокоактивные пробы, отобранные на надпойменной террасе вблизи внешней границы промышленной зоны ГХК. Отношение удельных активностей изотопов в них равно 0,013-0,019, что соответствует характеру основной деятельности комбината. В пробах, взятых на острове Городской в г. Енисейске, установлены более высокие значения и широкий диапазон отношения - от 0,013 до 0,39. Это указывает на возможное участие в загрязнении пойменных почв и донных отложений Енисея не только глобальных выпадений, но и технологических сбросов, в том числе при нештатных ситуациях на ГХК. В пробах, отобранных на контрольных фоновых участках, расположенных в г. Красноярске, отношение <sup>238</sup>Pu/<sup>239,240</sup>Pu не превышает 0,08, что свидетельствует о преимущественном вкладе глобальных источников радиоактивного загрязнения. В почвогрунтах коренного берега Енисея в районе с. Атаманово это отношение доходит до 0,2, что указывает на участие реакторных газо-аэрозольных выбросов. Максимальные значения удельной активности плутония в аллювиальных отложениях приурочены к чётко локализованному слою мощностью до 10 см, занимающему разное положение в разрезе - от поверхности до глубины 140 см. Этот слой перекрыт слаборадиоактивными или практически чистыми отложениями. К нему приурочена основная доля активности и других техногенных радионуклидов. Такое распределение активности является следствием сложных гидрологических процессов формирования речных отложений.

Другой регион России, загрязнённый плутонием, - север Челябинской области. В результате деятельности ПО «Маяк» (г.Озёрск) по наработке оружейного плутония и переработки отработанного ядерного АЭС, а также из-за произошедших на нём нескольких аварий, земли в Челябинской области в зоне 400 км от комбината оказались заражены плутонием. В 1996 в разных районах Челябинской области содержание плутония- 238,239,240 в пахотном слое варьировалось от 0,75 до 4,2 Бк/кг, т.е. уровень

загрязнения некоторых участков пахотных земель в десятки раз превышает фоновые значения, обусловленные глобальными выпадениями. Перенос аэрозолей плутония на несколько сотен километров от ПО "Маяк" связан с мелкодисперсной фракцией аэрозолей плутония, что может приводить к более высокому уровню депонирования плутония в организме человека по сравнению с районами, более близкими к ПО "Маяк" (при равных поверхностных плотностях загрязнения почв плутонием).

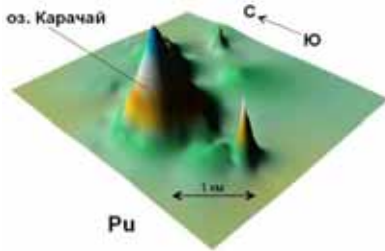
**Табл. 63** Поверхностная плотность загрязнения почвы плутонием в зоне влияния ПО "МАЯК" в Бк/м<sup>2</sup> (данные разных авторов)

"Зона влияния" (радиус, R (км))	<sup>239,240</sup> Pu на 1992 г.	<sup>238, 239, 240</sup> Pu на 1996 г.
R=100-400 км	Фон (37-110)	28-3000
R= 40-100 км	Фон (37-110)	150-6000
R-с.з.з <sup>2</sup> – 40 км	370-550	350-6000
Граница с.з.з.	Мах. 3700	Мах. 40 000
Пойма р. Теча (50-100 м от уреза воды)	Мах. 7400	Мах. 300 000

Предельно допустимая плотность загрязнения по плутонию - 0,1 Ки/км<sup>2</sup>, т. е. 3700 Бк/м<sup>2</sup>

97% изотопов плутония фиксированы в слое до 20 см. Максимальный запас находится в слое 5-15 см. Фоновый уровень загрязнения почв <sup>239,240</sup>Pu равен 0,003 Ки/км<sup>2</sup>. Пойма р. Течи загрязнена изотопами <sup>239,240</sup>Pu в несколько тысяч раз интенсивней, чем в фоновых регионах.

Содержание <sup>239,240</sup>Pu в воде водоемов севера Челябинской области составляет 6·10<sup>-3</sup> Бк/л, что превышает максимальный уровень <sup>239,240</sup>Pu в воде водоемов северного полушария в 200 раз (10<sup>-16</sup>-10<sup>-15</sup> Ки/л). Содержание <sup>239,240</sup>Pu в донных отложениях рек Теча и Караболка равно 59 Бк/кг. В наиболее загрязненной зоне грунтовых вод вблизи озера Карачай плутоний находится в виде малоподвижных форм – он сорбирован на железосодержащих минералах.



**Рис. 82.** Распределение плутония по озеру Карачай (ПО«Маяк»).

Больше всего плутония в картофеле, который составляет значительную часть рациона местного населения: среднее равно 2,87 мБк/кг, а максимальное - 5,75 мБк/кг сырой массы. Однако доля потребления плутония даже при максимальной его концентрации в картошке при потреблении 110 кг/г составит лишь 9,45·10<sup>-4</sup>%, поскольку снятие кожуры с клубней картофеля удаляет 99% содержащегося в них плутония.

Суммарная концентрация естественных и искусственных α-активных аэрозолей в воздухе населенных пунктов изменяется от 0,016·10<sup>-3</sup> Бк/м<sup>3</sup> (г. Касли) до 0,075·10<sup>-3</sup> Бк/м<sup>3</sup> (г. Кыштым). Концентрация радионуклидов в пробах воздуха, отобранных за движущимся транспортом, по суммарной α-активности возрастает до 100 и более раз (по сравнению с пробами, отобранными в это же время, но вне действия автодорог), что, однако, ниже допустимого.

В Челябинской области территория с уровнями загрязнения плутонием выше 0,005 Ки/км<sup>2</sup> вытянута с юго-запада на северо-восток вдоль оси Аргаяш-Багаряк, а с запада на восток вдоль параллели Кыштым-Кунашак. Граница указанного загрязнения проходит примерно в 15 км к северу, в 35 км к северо-востоку, в 20 км к востоку, в 15 км к югу и 4 км к западу от санитарно-защитной зоны предприятия. Территория с уровнями загрязнения более 0,01 Ки/км<sup>2</sup> по конфигурации та же, что и предыдущая, но по площади примерно в 1,5 раза меньше. Наиболее удалена граница этой плотности загрязнения в северо-восточном направлении - до 30 км, значительно меньше в северном и восточном - 9 и 12 км соответственно. Территория с плотностью загрязнения более 0,1 Ки/км<sup>2</sup> охватывает территории, расположенные в непосредственной близости от санитарно-защитной зоны ПО "Маяк" (2-4 км), лишь в направлении на северо-восток она удалена от неё до 7 км. Уровни загрязнения почв Ри-239,240 выше 1 Ки/км<sup>2</sup> имеют место на небольшом участке на северо-востоке от озера Кызылташ.



**Рис. 83.** Карта-схема уровней накопления плутония жителями Челябинской области: 3,7 (—), 0,74 (---), 0,37 Бк (- - -) (начало ординат – метеостанция Озёрска – 8 км от промплощадки Маяка). (Фоновое содержание плутония в организме человека 0,07 до 0,12 Бк).

С увеличением расстояния от источника выброса содержание плутония в организме лиц, не имеющих профессионального контакта с плутонием, медленно снижается, корреляция с направлением прослеживается на значительном расстоянии от предприятия.

Важным фактором, определяющим динамику накопления плутония в организме лиц, относящихся к населению регионов с повышенным его содержанием, является срок проживания в зоне наблюдения. Например, с начала 50-х годов содержание радионуклида у лиц Челябинской области росло линейно с постоянной скоростью, 0,11 Бк/год и достигло значений 4,2 Бк, что в 40 раз выше, по сравнению с уровнем накопления плутония глобального происхождения. Поэтому фактор

накопления плутония в организме у населения Челябинской области рассматривается как наиболее значимый источник внутреннего облучения техногенного происхождения.