

## ПЛУТОНИЙ В ПОЧВАХ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

**В.П. Агурова, В.В. Коваленко,  
А.Б. Чевелёв, Е.В. Резвицкий\***

*Изучено загрязнение почв Красноярского края и сопредельных регионов радионуклидами плутония. Определение удельной активности изотопов  $^{238}, ^{239}, ^{240}\text{Pu}$  в пробах почвы выполнялось радиохимическим методом с альфа-спектрометрическим окончанием. Предварительно изучены метрологические характеристики используемой методики. Сделаны выводы о путях и особенностях загрязнения плутонием территории Красноярского края. Предложены контрольные уровни удельной активности плутония в почвах Красноярского края.*

Во всём мире проявляется повышенный интерес к загрязнению плутонием объектов окружающей среды. Он обусловлен глобальным характером загрязнения и высокой радиотоксичностью этого элемента. По мнению бывшего председателя Комитета МКРЗ по внутренним дозам Карла Моргана, «...плутоний, возможно, одно из самых опасных веществ, известных человеку» [1].

Основным источником поступления плутония в окружающую среду служат глобальные выпадения, связанные с испытаниями ядерного оружия в атмосфере. Так, после ядерных испытаний 1945-1976 гг. в атмосферу поступило 13 ТБк  $^{239,240}\text{Pu}$  и 360 ТБк  $^{241}\text{Pu}$ . В результате уровень глобального загрязнения почв мира, обусловленный ядерными взрывами, колеблется от 30 до 300 Бк/м<sup>2</sup> [1,2]. К дополнительным источникам глобального загрязнения плутонием относятся единичные случаи разрушения космических аппаратов с радиоизотопными источниками энергии. Так, в 1964 г. при сгорании навигационного спутника Земли в атмосферу поступило 0,63 ТБк  $^{238}\text{Pu}$ , что вдвое увеличило содержание этого элемента в окружающей среде [1,3].

Деятельность предприятий ядерного топливного цикла, таких как атомные электростанции, приводит к локальному загрязнению почв, зачастую прослеживающемуся на больших расстояниях от этих предприятий.

Наконец, значительные количества плутония поступили в объекты окружающей среды России и стран Европы в результате Чернобыльской аварии. В районах, расположенных вблизи Чернобыльской АЭС, содержание изотопов плутония вскоре после аварии составляло до 0,1...1,0 Ки/км<sup>2</sup> [4].

В Центральной Сибири влияние Чернобыльской аварии практически незаметно, однако здесь есть «свои» дополнительные источники плутония в окружающей среде. Это – деятельность предприятий военно-промышленного комплекса, занимающихся производством оружейного плутония. К ним относятся: Сибирский химический комбинат (СХК), расположенный в г. Северске Томской области, и Горно-химический комбинат (ГХК), работающий в г. Железногорске Красноярского края. Оба этих комбината с конца 50-х и до начала 90-х годов занимались наработкой и производством оружейного плутония [5,6]. В результате многолетней деятельности ГХК обширные территории края, в первую очередь расположенные в долине Енисея, оказались загрязнёнными техногенными радионуклидами, в том числе плутонием.

Доступные сведения о загрязнении почв Центральной Сибири изотопами плутония до 90-х годов практически отсутствовали. Например, даже в таких авторитетных источниках, как ежегодные Государственные доклады Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ и доклад межведомственной комиссии по изучению и уточнению радиационной обстановки в Красноярском крае, по существу, отсутствуют сведения о загрязнении плутонием.

С учётом сказанного Красноярским региональным радиологическим центром (РРЦ), который функционирует в составе ФГУ «Центр госсанэпиднадзора в Красноярском крае», в 1994 г. были начаты работы по систематическому изучению загрязнения плутонием почв Красноярского края и сопредельных регионов.

#### **Объекты и методы**

Объектом исследования являются почвы селитебных территорий, пойменные почвы и речные отложения рек Енисея и Томи. Отбор проб почв проводился послойно на глубине 0...5 и 5...10 см. В отдельных случаях образцы отбирались до глубины 150 см.

При отборе проб основное внимание уделено густонаселённым центральным и южным районам края. Пробы не отбирались на территориях, где нет, или мало населённых пунктов, или они очень удалены, например, это районы Эвенкийского национального округа или окрестности пос. Хатанга. Самое большое количество проб взято в зоне влияния ГХК. Наиболее отдалённая точка в этой зоне – остров Искупский, расположенный в 1412 км от Красноярска. Для сравнения проанализированы почвы соседних регионов. Объём выполненных аналитических исследований указан в табл. 1.

\* © В.П. Агурова, В.В. Коваленко, А.Б. Чевелёв, Центр государственного санитарно-эпидемиологического надзора в Красноярском крае; Е.В. Резвицкий, Красноярский государственный университет, 2003.

Количество определений плутония, выполненных в 1994-2001 гг.

Территория	Количество результатов
Красноярский край	576
Республика Хакасия	30
Алтайский край	10
Иркутская область	26
Кемеровская область	10
Томская область	37
Всего	689

Специалисты, изучающие загрязнение окружающей среды плутонием, считают, что «...надёжные результаты определения плутония в почвах могут быть получены только путём его радиохимического выделения и последующей альфа-спектрометрии» [1]. С учетом этой точки зрения при выполнении работы нами использовалась «классическая» методика радиохимического анализа, описанная ниже.

При подготовке пробы к анализу проводят её прокалывание в течение 4...6 ч при температуре 500...600 °С, вносят рассчитанное количество изотопной метки ( $^{236}\text{Pu}$  или  $^{242}\text{Pu}$ ) и разлагают пробу смесью концентрированных азотной и фтористоводородной кислот в отношении 100/1.

Выполняют сорбционное выделение плутония на анионите марки АВ-17 с дальнейшим последовательным промыванием смолы 9 М соляной кислотой и 7,5 М азотной кислотой. Плутоний элюируют смесью 0,4 М соляной кислоты и 30 %-го раствора пероксида водорода. Затем проводят экстракционную доочистку выделенного плутония 10 %-м раствором теноилтрифторацетона (ТТА) в толуоле.

Плутоний осаждают на подложку из коррозионно-стойкой стали в течение 2 ч при плотности тока 300...320 мА/см<sup>2</sup> и измеряют активность нуклидов плутония на подложке с использованием альфа-спектрометра с полупроводниковым детектором при энергетическом разрешении не хуже 50...70 кэВ и продолжительности счёта до 10...12 ч.

Недостатком этой методики являлось отсутствие апробированных метрологических характеристик, определяющих такой основной показатель, как воспроизводимость аналитических результатов. Это послужило причиной проведения специальных метрологических исследований с использованием методики многофакторного дисперсионного анализа. При этом дополнительно получено 40 результатов, относящихся к пяти аналитическим навескам.

#### Результаты и их обсуждение

Одна из основных метрологических характеристик любой аналитической методики – относительное стандартное отклонение результатов или стандарт  $S_r$ . По современным представлениям аналитическая методика считается хорошо отработанной, если зависимость  $S_r$  от концентрации (удельной активности  $A$ ) определяемого компонента, то есть  $S_r = f(A)$ , удовлетворительно аппроксимируется степенной функцией вида  $S_r = aA^{-b}$ . При этом считают, что близость показателя степени  $b$  к 0,5 свидетельствует об отсутствии значимых погрешностей неслучайного характера [7].

Опубликованные данные по этому вопросу, относящиеся к «классической» методике радиохимического определения плутония, нами не найдены. С учётом этого были выполнены специальные метрологические исследования, включающие установление вида концентрационной зависимости и изучение основных источников случайных погрешностей, характерных для используемой методики.

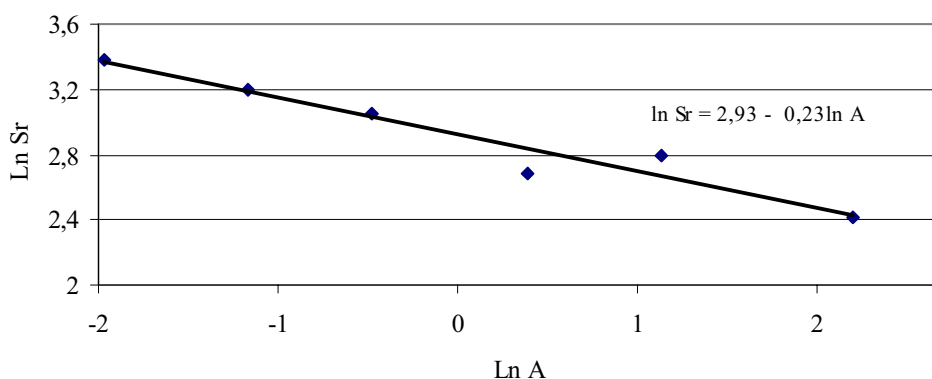
При установлении концентрационной зависимости было сформировано шесть выборок, представленных парными результатами рядовых определений плутония в 81 пробе. Среднеквадратические отклонения результатов и средние значения удельной активности плутония, рассчитанные на основании этих результатов для отдельных аналитических интервалов, отображены в табл. 2.

Аппроксимация данных табл. 2 приводит к уравнению регрессии вида:  $\ln S_r = 2,93 - 0,23 \ln A$ , или  $S_r = 18,6 A^{-0,23}$  с коэффициентом линейной корреляции между значениями  $\ln S_r$  и  $\ln A$ , равном 0,97 (рис. 1). Высокое значение коэффициента парной корреляции позволяет без дополнительной проверки утверждать, что полученное уравнение регрессии адекватно аппроксимирует закономерную зависимость относительного стандартного отклонения результатов определения плутония от его удельной активности в пробах почвы.

С использованием установленной концентрационной зависимости рассчитаны усреднённые значения  $S_r$ , соответствующие отдельным аналитическим интервалам, которые после небольшого «округления» предлагаются в качестве нормативов точности «классической» методики радиохимического определения плутония в пробах почвы (табл. 3).

**Фактические значения средних удельных активностей и относительных стандартных отклонений результатов радиохимического определения плутония в пробах почвы в аналитическом диапазоне 0,1...10,0 Бк/кг**

Интервал уд. активности, Бк/кг	Кол-во проб, n	Среднее значение уд. активность $\bar{A}_p$ , Бк/кг	Стандартное отклонение, $S_r$	$\ln \bar{A}_i$	$\ln S_r$
0,10...0,19	16	0,14	29,4	-1,966	3,381
0,20...0,49	33	0,31	24,6	-1,171	3,203
0,50...0,99	6	0,62	21,2	-0,478	3,054
1,0...1,99	9	1,48	14,6	0,392	2,681
2,0...4,99	7	3,10	16,3	1,131	2,791
> 5,0	10	9,0	11,2	2,197	2,416



*Рис. 1. Зависимость отн. стандартного отклонения результатов радиохимического определения плутония от его удельной активности в пробах почвы*

**Нормативы точности результатов радиохимического определения плутония в пробах почвы**

Интервал уд. активности, Бк/кг	Среднее для интервала, Бк/кг	Вычисленное значение $S_r$ , отн. %	Норматив точности Д, отн. %
0,10 - 0,19	0,15	28,5	30
0,20 - 0,49	0,35	24,4	25
0,50 - 0,99	0,75	19,4	20
1,0 - 1,99	1,5	17,0	17
2,0 - 4,99	3,5	14,0	14
> 5,0	7,5	11,8	12

Вместе с тем, полученные результаты определения плутония, по-видимому, не полностью свободны от погрешностей неслучайного характера. Об этом свидетельствует значение коэффициента регрессии  $b$ , значимо отличающееся от 0,5. Однако вклады этих погрешностей невелики и при практической работе могут не учитываться, так как фактические значения  $S_r$  во всём аналитическом диапазоне не выходят за предел точности, который для количественных аналитических методов обычно принимают равным  $\pm 30\%$  отн. Тем не менее, нами был выполнен специальный метрологический эксперимент, цель которого заключалась в выявлении аналитических операций, вносящих существенный вклад в суммарную погрешность результатов определения плутония. Результаты эксперимента обработаны с применением метода многофакторного дисперсионного анализа.

Для изучения выбраны следующие факторы, соответствующие основным аналитическим операциям: 1) изменчивость состава проб, оказывающая влияние на представительность отбора аналитических навесок и полноту вскрытия аналитической навески (фактор А или «фактор пробы»), 2) изменчивость условий химической обработки пробы, включающей ионообменное отделение плутония и его экстракционную доочистку (фактор В или

«фактор выделения»), 3) изменчивость процесса электролитического осаждения плутония на мишени (фактор С или «фактор мишени»), 4) изменчивость условий спектрометрического измерения удельной активности изотопов плутония (фактор D или «фактор измерения»).

Эксперимент выполнен с использованием пяти аналитических навесок, отобранных от одной предварительно гомогенизированной пробы с удельной активностью плутония 10 Бк/кг. После внесения изотопного трассера и химического разложения раствор делился на две аликвотные части для последующего ионообменного выделения и экстракционной очистки плутония, вновь делился на две аликвоты для его электролитического осаждения и наконец каждая мишень, полученная в результате электролиза, измерялась дважды. Таким образом, было получено 40 результатов.

При дисперсионном анализе установлено, что большинство изученных факторов и эффекты их взаимодействия на фоне остаточной дисперсии не значимы. Существенным является только фактор А, включающий операции отбора аналитических навесок и их кислотного разложения (табл. 4).

Таким образом, суммарная погрешность результатов радиохимического определения плутония в пробах почвы складывается только из двух компонентов – остаточной дисперсии  $s_{ост}^2$ , уточнённое значение которой равно 1,05 при  $f = 35$ , и дисперсии  $s_A^2$ , равной 0,27 при  $f = 4$ . С учётом этого полная дисперсия аналитических результатов для проб с удельной активностью плутония 10 Бк/кг равна:  $s_{\Sigma}^2 = s_{ост}^2 + s_A^2 = 1,05 + 0,27 = 1,32$ . Соответственно стандартное отклонение  $s_{\Sigma}$  равно 1,15 Бк/кг и относительное стандартное отклонение равно  $\pm 11,5\%$ . Последнее значение не превышает норматив точности, равный 12 % для интервала  $>5,0$  Бк/кг, что характеризует результаты, использованные для дисперсионного анализа как типичные по точности.

К настоящему времени с использованием описанной методики выполнено более 600 определений плутония в разнообразных объектах окружающей среды. В табл. 1 указано количество определений, относящихся к почвам различных регионов Центральной Сибири. Выбор почвы как первоочередного предмета исследования объясняется тем, что она является главным депоном плутония в окружающей среде, служащим постоянным источником его поступления в организм человека.

Основные результаты выполненных нами исследований сводятся к следующему:

1. Территория Красноярского края условно может быть разделена на три категории земель, различающихся по уровню загрязнения почв изотопами плутония (табл. 5).

Загрязнение почв на землях первой категории обусловлено глобальными выпадениями плутония. Уровень этого загрязнения рассматривается нами как фоновый и оценивается равным  $0,34 \pm 0,02$  Бк/кг. Его максимальные значения не превышают 2 Бк/кг. Приведённые величины совпадают с данными других исследователей, согласно которым активность плутония в почвах бывшего СССР, обусловленная глобальными выпадениями, в среднем равна 1,15 (0,55...2,67) Бк/кг, или 188 (74...414) Бк/м<sup>2</sup>, а в других странах северного полушария – 0,13...6,73 Бк/кг, или 23...566 Бк/м<sup>2</sup> [8].

Таблица 4

Результаты дисперсионного анализа

Аналитическая операция	Число степеней свободы	Средний квадрат	Отношение средних квадратов
Отбор аналитической навески и её кислотное разложение, фактор А	4	3,25	3,18*
Ионообменное отделение плутония и его экстракционная доочистка, фактор В	1	1,26	1,24
Электролитическое осаждение, фактор С	1	0,55	<1
Спектрометрическое определение, фактор D	1	2,45	2,45
Остаток	32	1,02	-

Таблица 5

Районирование территорий Красноярского края и Республики Хакасия по уровню загрязнения почв плутонием

Территория	Показатели удельной активности, Бк/кг					
	Средняя	Me	Mo	Min	Max	n
1. Почвы Красноярского края вне зоны влияния ГХК Для справки: почвы Республики Хакасия	0,34±0,02 0,27±0,03	0,24 0,17	0,10 0,10	0,10 0,10	1,98 0,68	370 30
2. Почвы Красноярского края в границах 30 км вокруг ГХК (без пойменных почв в долине Енисея)	0,68±0,17	0,32	0,10	0,10	10,6	101
3. Почвогрунты в пойме Енисея в границах зоны наблюдения ГХК (до 1500 км вниз по течению реки от г. Железногорска)	5,60±0,80	1,15	0,10	0,10	48,8	105

Наиболее загрязнены пойменные почвы и донные отложения Енисея, относящиеся к землям третьей категории. Здесь при средней удельной активности плутония  $5,6 \pm 0,8$  Бк/кг в отдельных пробах зафиксированы значения, достигающие 50 Бк/кг. Для сравнения можно привести данные Н.С. Швыдко и Н.П. Ивановой [9], согласно которым удельная активность нуклидов плутония в верхнем 2...3-сантиметровом слое почв на территориях Брянской области, загрязнённых в результате Чернобыльской аварии, в 1992 г. находилась в интервале от 2,7 до 7,8 Бк/кг. На Семипалатинском испытательном полигоне загрязнение почвы плутонием в радиусе до 150...200 км от места проведения взрывов в 1990 г. составляло около 20 Бк/кг или 0,02 Ки/км<sup>2</sup> [10].

Переходное положение занимают сельскохозяйственные и селитебные почвы 30-километровый зоны наблюдения, относящиеся ко второй категории земель. Их загрязнение происходило газоаэрозольным путём. Средний уровень загрязнения почв в этой зоне равен  $0,68 \pm 0,17$  Бк/кг, а максимум составляет 10,6 Бк/кг.

В табл. 6 дополнительно приведены значения удельной активности <sup>137</sup>Cs, характерные для почв первой и третьей зон. Вторая (переходная) зона по результатам измерения <sup>137</sup>Cs не выделяется.

2. Гистограммы частотного распределения результатов определения плутония в почвах имеют характер, индивидуальный для каждой из выделенных категорий земель (рис. 2, 3 и 4). Это служит дополнительным подтверждением предположения о различных источниках и путях загрязнения территории Красноярского края радионуклидами плутония.

В результате анализа этих гистограмм можно назвать ещё, по крайней мере, две особенности, характерные для Красноярского края, а именно:

- распределение результатов, относящихся к пробам из 30-километровой зоны наблюдения ГХК, является бимодальным. Один из максимумов отвечает уровню глобального загрязнения территории края, равному 0,3...0,4 Бк/кг, тогда как другой максимум соответствует 0,7 Бк/кг. Последнее значение, по-видимому, может рассматриваться как уровень техногенно усиленного радиационного фона, обусловленного многолетней деятельностью Горно-химического комбината;

- высокие средние значения активности плутония, характерные для почв и аллювиальных отложений в зоне влияния ГХК, формируются за счёт немногочисленных аномальных результатов. Эта особенность – отражение крайней неравномерности загрязнения пойменных почв Енисея, обусловленной сложностью физико-химических и гидродинамических условий фиксации радиоактивных нуклидов на речных отложениях.

3. Плутоний в пробах представлен в основном радионуклидами <sup>239,240</sup>Pu. Отношение удельных активностей <sup>238</sup>Pu/<sup>239,240</sup>Pu колеблется в них от 0,013 до 0,22.

Столь большой диапазон значений можно объяснить различной природой загрязнения. Известно, что для оружейного плутония это отношение не превосходит 0,04, тогда как для плутония глобальных выпадений оно больше и достигает 0,08.

Еще более высокие значения связывают с газоаэрозольными выбросами атомных электростанций (например, в районе Ленинградской АЭС отношение <sup>238</sup>Pu/<sup>239,240</sup>Pu равно 0,1...0,2) или с выбросами предприятий при нештатных ситуациях. Так, при аварии на Чернобыльской АЭС в первые дни после катастрофы отношение было равным 0,65. В настоящее время в почвах Брянской области, загрязнённых чернобыльским плутонием, оно колеблется от 0,33 до 0,59 [11, 12, 13, 14].

Среди изученных образцов к первому типу относятся высокоактивные пробы, отобранные на надпойменной террасе вблизи внешней границы промышленной зоны ГХК. Отношение <sup>238</sup>Pu/<sup>239,240</sup>Pu в них равно 0,013...0,019. Для проб, взятых на острове Городской в г. Енисейске, характерны более высокие значения и широкий диапазон отношения – от 0,039 до 0,22. Это наводит на мысль о возможном участии в его загрязнении как газоаэрозольных выбросов, так и выбросов, связанных с нештатными ситуациями. Наконец, в пробах, относящихся к контрольным незагрязнённым участкам, в г. Красноярске и его окрестностях, а также на коренном берегу Енисея в районе села Атаманово отношение <sup>238</sup>Pu/<sup>239,240</sup>Pu равно 0,12...0,16, что свидетельствует о существенном вкладе газоаэрозольных выбросов ГХК.

4. Полученные результаты отражают ещё одну особенность распределения радионуклидов в аллювиальных отложениях Енисея – это аккумуляция плутония в глубоководном слое небольшой мощности.

В залежных почвах плутоний обычно приурочен к поверхностному пятисантиметровому слою, реже максимум активности плутония находится более глубоко – в слое 5...10 см. Для аллювиальных песчано-галечных речных отложений характерно совершенно другое, необычное вертикальное распределение плутония. Максимальные значения удельной активности этого элемента связаны здесь с чётко локализованным слоем мощностью около 10 см, занимающем разное положение в разрезе – от поверхности до глубины 140 см. Этот слой обычно перекрыт слабоактивными или практически чистыми отложениями. К нему приурочена основная доля активности и других техногенных радионуклидов. Для примера можно назвать отложения острова Городской в г. Енисейске или острова Искупский, расположенного в 1412 км ниже г. Красноярска.

Исследователями, занимающимися изучением радиоэкологической обстановки в долине Енисея, высказывается мнение, что накопление техногенных радионуклидов преимущественно в одном слое произошло в результате катастрофического паводка, случившегося на Енисее в 1966 г. Однако пока никем не описан убедительный

Таблица 6

Удельная активность цезия в почвах различных территорий Красноярского края, Бк/кг

Территория	Средняя	Min	Max
1. Почвы Красноярского края и Республики Хакасия вне зоны влияния ГХК	8,9	5,0	80
2. Почвы Красноярского края в границах 30-километровой зоны наблюдения ГХК (без пойменных почв в долине Енисея)	Показатели не отличаются от данных, приведённых в п. 1		
3. Почвогрунты в пойме Енисея в границах зоны влияния ГХК (до 1500 км вниз по течению реки от г. Железнодорожска)	49,2	5,0	757

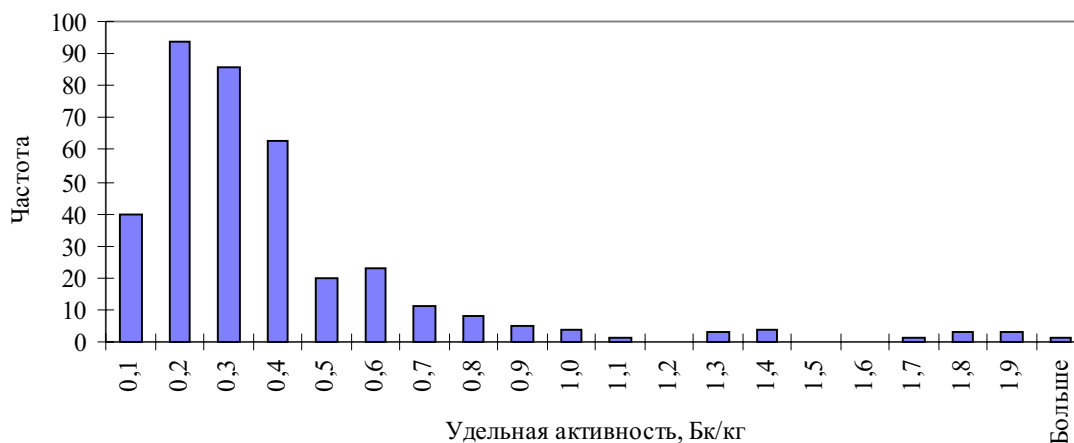


Рис. 2. Распределение результатов определения плутония в пробах почв, отобранных на территории Красноярского края вне зоны влияния ГХК



Рис. 3. Распределение результатов определения плутония в пробах почв, отобранных в 30-километровой зоне ГХК

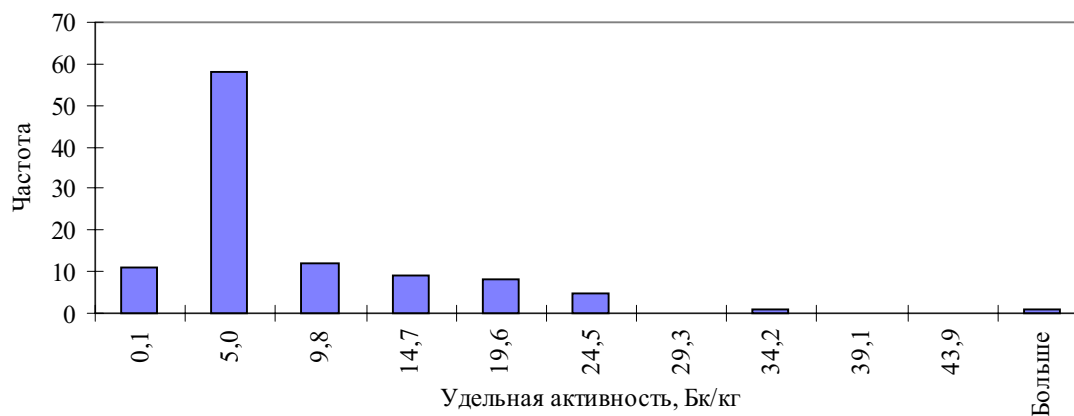


Рис. 4. Распределение результатов определения плутония в пробах пойменных почв и донных отложений Енисея, отобранных в зоне влияния ГХК



механизм процессов, приводящих к аккумуляции радиоактивного материала в локализованном слое речных отложений при таком деструктивном процессе, как паводок.

Очевидно, что полученные результаты могут и должны послужить основой при принятии решений о целесообразности и необходимости выполнения мероприятий по ограничению облучения населения от техногенного радиоактивного загрязнения. Такие решения принимаются с учётом официально установленных нормативов, регламентирующих допустимые уровни удельной активности плутония в объектах окружающей среды. Однако такие нормативы как в России, так и в других странах отсутствуют. Поэтому мы взяли на себя смелость предложить, базируясь на полученных результатах, региональные контрольные уровни загрязнения плутонием почв Красноярского края (табл. 7).

Таблица 7

**Контрольные уровни загрязнения плутонием почв Красноярского края**

Контрольный уровень	Удельная активность плутония, Бк/кг	Действия
1. Уровень регистрации или уровень освобождения от вмешательства	Меньше или равно 1,0	Результаты должны быть учтены в базе данных
2. Уровень изучения или уровень действий	Больше 1,0	Материалы должны быть направлены в ФГУ "Центр госсанэпиднадзора в Красноярском крае" для изучения и принятия решения

Целесообразность введения контрольных уровней очевидна, она вытекает из здравого смысла и рекомендации Международной комиссии по радиологической защите. В 60-й Публикации МКРЗ указывается, что «...при руководстве работами полезно устанавливать значения измеряемых величин, при превышении которых должны быть предприняты какие-то особые действия или решения. Эти значения обычно называют контрольными уровнями» [1].

Предлагаемые контрольные уровни ориентированы на фактические показатели загрязнения плутонием почв края, однако они учитывают и уровни загрязнения плутонием территории России и Сибири. Рекомендуемые действия соответствуют сложившейся практике радиационного мониторинга на территории края и поведению должностных лиц, принимающих решения по обращению с объектами окружающей среды, загрязнёнными техногенными радионуклидами.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Воробьев Г.В. Плутоний в России. Экология, экономика, политика. Независимый анализ/ Г.В.Воробьев, А.М.Дмитриев, А.С.Дьяков, Ю.И.Ершов; под рук. А.В. Яблокова – М.: Социально-эколог. союз, 1994. – 144 с.
2. Баранов В.И. Радиогеология / В.И.Баранов, Н.А.Титаева. – М.: Изд-во МГУ, 1973. – 242 с.
3. Воробьев Г.В. Плутониевая экономика: выход или тупик/ Г.В.Воробьев, М.В.Иваницкая, М.В.Мионов, С.А.Романов; под ред. Н.И. Мироновой. – Челябинск: Движение за ядерную безопасность, 1998. – 52 с.
4. Апплби Л. Дж. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. Радиоэкология после Чернобыля: Пер. с англ./ Л.Дж. Апплби, Л. Девелл, Ю.К. Мишра; под ред. Ф.Уорнера и Р. Харрисона. – М.: Мир, 1999. – 512 с.
5. Барановский С.И. Радиационное наследие холодной войны/ Отв. ред. С.И. Барановский, В.Н. Самосюк. – М.: Российский Зеленый Крест, 1999. – 375 с.
6. Плинер Ю.А. Стандартные образцы металлургических материалов/ Ю.А. Плинер, В.В. Степин, В.И. Устинова. – М.: Металлургия, 1976. – 296 с.
7. Браунли К.А. Статистические исследования в производстве/ К.А. Браунли. – М.: Иностран. лит., 1949. – 227 с.
8. Иванов В.В. Редкие f-элементы. Экологическая геохимия элементов: Справочник: В 6 кн. Кн. 6/ В.В. Иванов; под ред. Э.К. Буренкова. – М.: Экология, 1997. – 607 с.
9. Швыдко Н.С. Значимость «почвенной фракции» плутония в формировании доз облучения населения Брянской области/ Н.С. Швыдко, Н.П. Иванова и др.// Радиационная биология. Радиоэкология. – 1995. – Т.35. – №1.
10. Габассов М.Н. Оценка уровней радиоактивного загрязнения территории Семипалатинского полигона. Бюллетень центра общественной информации по атомной энергии № 5-6/ М.Н. Габассов, В.И. Зеленев, В.М. Лобарев, А.С. Марковец. – М.: ЦНИИАтоминформ, 1995. – С. 42-43.
11. Strezov A. Natural radionuclide and plutonium content in black sea bottom sediments/ A. Strezov, I. Yordanova, M. Pimpl and T. Stoilova// Health Physics. – 1996. – Т. 70. – № 1. – P. 77.
12. Горяченкова Т.А. Содержание и распределение <sup>239</sup>Pu, <sup>240</sup>Pu в почвенно-растительном покрове ближайшей зоны Ленинградской АЭС/ Т.А. Горяченкова, Ф.И. Павлоцкая и др.// Атомная энергия. – 1993. – Т. 74. – № 6. – С. 514-518.

13. Источники, эффекты и опасность ионизирующей радиации: Доклад Научного комитета ООН по действию атомной радиации Генеральной Ассамблее за 1988 г; В 2 т. Т. 2. – М.: Мир, 1993. – 726 с.
14. Радиационная безопасность. Рекомендации МКРЗ 199 г. Публикация 60 МКРЗ. Ч. 1: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 192 с.

#### PLUTONIUM IN THE SOILS OF KRASNOYARSK KRAI

**V.P. Aturova, V.V. Kovalenko,  
A.B. Chevelev, E.V. Rezvitsky**

*Specific activity of  $^{238}\text{Pu}$  and  $^{239, 240}\text{Pu}$  isotopes has been detected and evaluated by radiochemical methods involving  $\alpha$ -spectrometry in more than 600 cases in soil samples taken in Krasnoyarsk krai and adjacent regions of Siberia. Metrologic characteristics of the methods employed have been studied. An experiment employing multifactorial analysis of variance has been performed. The results obtained have formed grounds to make conclusions about pathways and specifics of soil contamination with plutonium in Krasnoyarsk krai and suggest reference levels of specific activity of plutonium in soils.*