

АГРОЭКОЛОГИЯ И АГРОХИМИЯ

Известия ТСХА, выпуск 4, 2002 год

УДК 614.76 : 546.799

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ С ВЫБРОСОМ ГРУНТА НА СЕВЕРЕ ПЕРМСКОЙ ОБЛАСТИ

Часть 1. Радионуклидное загрязнение местности
(почва, вода, донные отложения)

А.АЛУРЬЕ

(Кафедра радиологии)

Представлены результаты экспедиционных и лабораторных исследований последствий подземных ядерных взрывов 1971г. в таежной части междуречья Печоры и Колвы, где с помощью ядерных взрывов большой мощности предполагалось проложить канал для пополнения водостока Камы и Волги в Каспийское море. На месте пробного взрыва образовалось бессточное озеро со значительным радиационным загрязнением на земляных отвалах по берегам и в донных отложениях. В почвах и других природных объектах обнаружены долгоживущие осколочные радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr , а также трансуранный ^{241}Am и ^{60}Co активационного происхождения. Установлен ареал распространения радиоактивного загрязнения на местности, определены количество и профильное распределение радионуклидов в донных отложениях озера и в почвах на глубину до 220см. В работе обсуждаются возможные причины специфического радионуклидного состава (и соотношения нуклидов) в очаге, характерные, по-видимому, для подземных ядерных взрывов экскавационного типа.

Во втором сообщении будут приведены сведения о включении радионуклидов в элементы биосферы — растения, грибы, отдельные пробы от животных и их экскретов.

В 1971 г. в рамках проекта «Тайга» в Чердынском районе Пермской обл. был произведен опытный групповой подрыв трех (?) ядерных зарядов мощностью по 15 кт тротилового эквивалента каждый [1, 9]. Объявленной целью проекта являлась прокладка канала между реками Печора и Колва для пополнения вод Каспийского моря, в то время сильно обмелевшего.

Несмотря на большую глубину заложения зарядов (128 м), подрыв осуществлялся на выброс грунта, т.е. был экскавационного, а не камуфлетного (глубинного) действия. В результате атмосферного перемещения взрывного облака в тайге образовался радиоактивный след, который даже два года спустя отмечался на протяжении 7 км. На месте соснового бора с заранее вырубленным лесом возникла довольно значительная по площади выемка, которая быстро заполнилась водой из атмосферных и грунтовых источников (поблизости в тайге имеются обширные болота верхового типа). Площадь поверхности озера в настоящее время составляет около 22 га. На навалах грунта по периметру озера до сих пор сохраняется довольно значительный радиационный фон, о чем предупреждают расставленные здесь и на подходе к озеру знаки ра-

диационной опасности. В центре озера расположен небольшой островок размером примерно 5 x 11 м.

Для прокладки канала длиной 65 км предполагалось произвести до 250 ядерных взрывов такой же или даже большей мощности. В 1976 г. готовился подрыв еще трех зарядов мощностью по 40 кт, а впоследствии предполагалось применять групповые взрывы до 20 зарядов одновременно. Однако в том же 1976 г. все работы по проекту были прекращены.

В двух сообщениях приводятся результаты исследований, полученные в независимой радиэкологической экспедиции 1998 г. В силу ряда объективных причин (малого времени пребывания в очаге, находящемся в труднодоступном таёжном районе; недостаточного количества и объёма образцов, которые удалось собрать и вывезти из экспедиции) выполненное исследование — первое исследование такого рода на данном объекте — носит довольно поверхностный и приблизительный характер. Вместе с тем мы полагаем, что уникальность объекта оправдывает публикацию результатов экспедиции в том виде, который оказался достижимым в условиях практически полного отсутствия официальной финансовой поддержки проекта.

Характеристика объекта и методика исследования

Район исследования расположен в 185 км севернее г. Соликамска, в 20 км от ближайшего населенного пункта — посёлка Чусовского, в таежной зоне, занятой в основном еловыми лесами (с примесью березы, осины, ольхи и других пород), перемежающимися болотами. Почвообразующие породы, хорошо видные в береговых навалах у озера, состоят из водно-ледниковых песков, супесей, а также тяжелых суглинков и глин. Нередки каменистые включения. Нативные почвы района в основном подзолистые, торфянисто-подзолистые и торфяно-глеевые. Заращение поверхности навалов за прошедшие после взрыва 27 лет — довольно слабое: имеются травянистая и кустарниковая растительность с подростом древесных пород, но значительная часть навалов имеет лишь скудное травянистое и мохово-лишайниковое покрытие или вовсе лишена растительности.

Радиационный фон на местности, измерявшийся радиометром СРП-68, показан на карте-схеме (рис.1). Обращает на себя внимание наличие двух очагов с наибольшим загрязнением — на северо-восточном и юго-восточном берегах. В западных

и юго-западных береговых отвалах γ -фон намного ниже, а максимальное расстояние, на котором можно ещё зафиксировать превышение над нормальным (фоновым) значением, практически нигде не распространяется далее 50-70 м от береговой линии. Зато в восточном направлении повышенный фон можно проследить на расстояниях примерно до 40-450 м от озера (см. трансекты П1 и П2, рис.2). В средней части восточного берега между профилями П1 и П2 четко обнаруживается значительный провал по интенсивности γ -фона.

Трудно объяснить эти обстоятельства иначе, как очевидным свидетельством несрабатывания одного из трех заложенных по линии А — Б зарядов, а именно среднего. Этим же, по-видимому, объясняется и наличие небольшого островка в самой середине озера. На островке обнаружена закрытая заглушкой скважина. Скважина пуста, вернее заполнена водой на глубину до 134 м (промеры наши) — это несколько больше объявленной глубины заложения ядерного заряда (127-128 м). По-видимому, невзорвавшийся заряд был позднее удален из скважины, на что указывают и многочисленные следы разнообразной позднейшей (после 1971 г.) деятельности

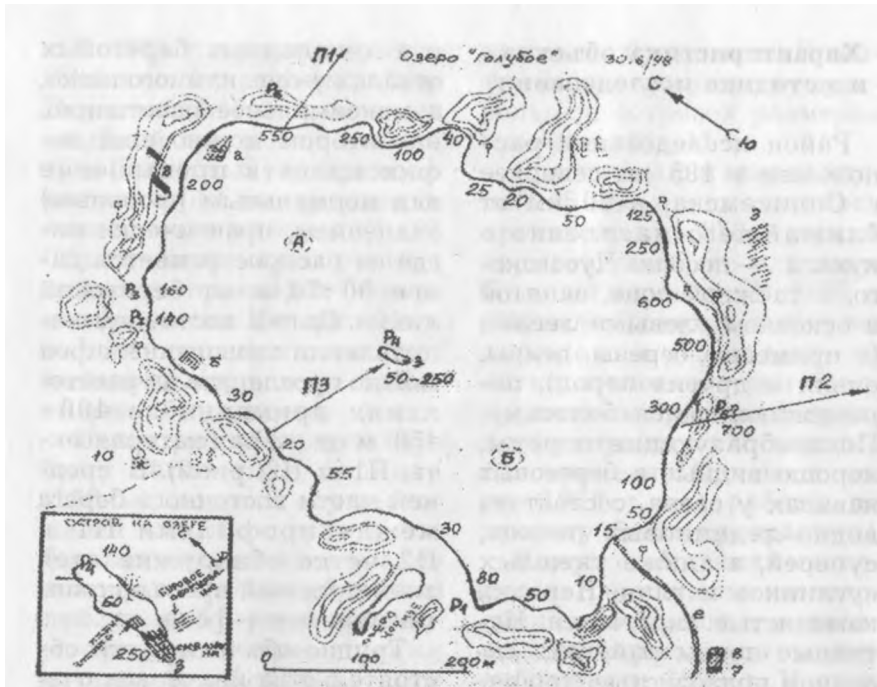


Рис. 1. План озера «Голубое» (сост. Е. Смертин).

а — Понтон с копром, *б* — понтон с лебедкой, *в* — тренировочная скважина с «колпаком», *г* — «колпаки», отброшенные взрывом, *д* — срубленный перед взрывом лес, *е* — траншея, *ж* — экспедиционный лагерь, *з* — труба-скважина на острове; *А, Б* — предполагаемые места заложения подорванных зарядов, *Р₁-Р₆* — месторасположения почвенных разрезов, *П₁-П₃* — профили измерений радиационного фона.

Значения радиационного гамма-фон (в мкР/ч), отмеченные на плане у береговой линии, относятся преимущественно к верхней части земляных отвалов.

на озере. Другие доводы в пользу такой версии случившегося приведены нами в газетной публикации [«Соликамские вести», 15.09.1998].

Для изучения послойного распределения радионуклидов в почвах и грунтах нами были заложены почвенные разрезы и проведено бурение

на глубину до 220 см в 6 пунктах (*Р₁-Р₆*), включая один на упомянутом острове в центре озера. Все обследованные (новообразованные) почвы на береговых отвалах оказались маломощными и слабогумусированными, глубина окончания горизонта В не превышала 30-40 см.

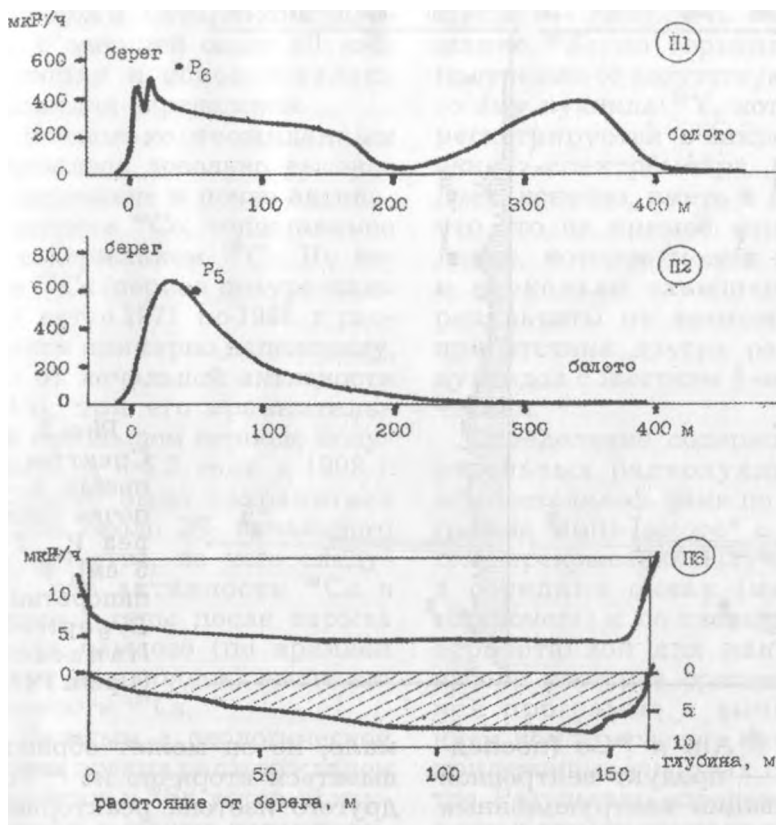


Рис. 2. Графики изменения радиационного фона в береговых профилях (трансектах) П₁ и П₂ и над поверхностью воды по профилю П₃ (от западного берега до острова), включая промеры глубин.

Образцы почв, донных отложений, растений, грибов и других биообъектов обрабатывали в лабораторных условиях в Москве. Биопробы в большинстве случаев оголялись или обугливались при температуре не выше 400-450°C (во избежание потерь ¹³⁷Cs). Результаты анализов приводятся в расчете на воздушно-сухую массу.

Содержание основных радионуклидов определялось на спектрометре Compu-Gamma 1282 (LKB/Wallac) со сцинтилляционным детектором NaI(Tl) колодезного типа. γ-Спектры почвенных и некоторых из биологических проб (см. рис.3) показали наличие, помимо совершенно очевидного для таких случаев ¹³⁷Cs, также трансурано-

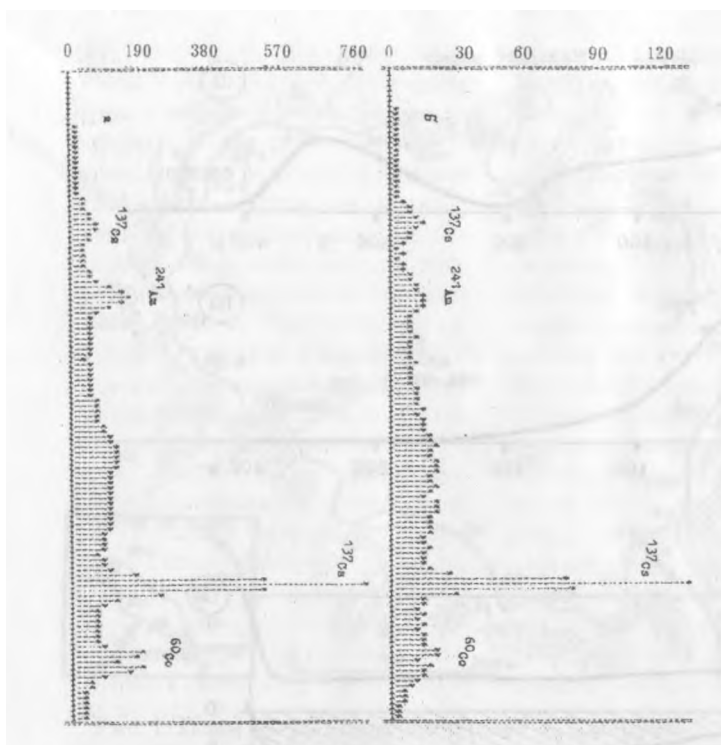


Рис. 3. у-
Спектры в
пробах: а —
почва (раз-
рез Р_с, 2-
5 см), б —
папоротник
Dryopteris
linn aean a
(Проба Р47).

вого ^{241}Am и ^{60}Co (последний — продукт нейтронной активации конструкционных материалов взрывных устройств).

В доступной литературе имеется крайне мало подобных сообщений об обнаружении ^{241}Am в местах подрыва ядерных зарядов, одно из них — с объекта «Кристалл» в Якутии, где был осуществлен подрыв ядерного заряда в 2 кт для создания плотины-хвостохранилища [10]. В свежих выпадениях радионуклидов взрывного происхождения америция обнаруживается обычно очень

мало, но он может образовываться вторично из ^{241}Pu , другого изотопа реакторной наработки. Относительное накопление ^{241}Am со временем обусловлено соотношением скоростей распада ^{241}Pu и ^{241}Am (значения периодов полураспада у них равны соответственно 14, 34 и 432 г). Следует иметь в виду, что накапливающийся америций представляет серьезную опасность с биологической точки зрения в силу его высокой радиотоксичности [4, 8]. Излучение ^{241}Am в природе мало заметно, т.к. распадается этот нуклид по а-типу, но у него

имеется и мягкая γ -компонента с энергией около 60 кэВ, которая и использовалась нами для определения.

Несколько неожиданным оказалось довольно высокое содержание в почве активационного ^{60}Co , сопоставимое с содержанием ^{137}Cs . Но если ^{137}Cs (период полураспада 30 лет) с 1971 по 1998 г. распался примерно наполовину, то от начальной активности ^{60}Co , при его сравнительно небольшом периоде полураспада в 5,3 года, к 1998 г. должно было сохраниться лишь около 3% начального количества, из чего следует, что активность ^{60}Co в первые годы после взрыва была намного (по крайней мере на порядок) выше активности ^{137}Cs .

Важным с экологической точки зрения радионуклидом является и ^{90}Sr , который изучается в общем недостаточно активно из-за сложностей его анализа (на настоящее время единственным надежным методом определения ^{90}Sr является весьма трудоемкий радиохимический анализ). Мы попытались найти компромиссное, хотя и несколько упрощенное ре-

шение — оценивать содержание ^{90}Sr по тормозному излучению от сопутствующего ему нуклида ^{90}Y , которое регистрируется в широком окне γ -спектрометра. Следует, конечно, иметь в виду, что это не прямое определение, которое может дать и несколько завышенные результаты от возможного присутствия других радионуклидов с жестким β -излучением.

Определение содержания отдельных радионуклидов осуществлялось нами по программе Multi-Isotope* с учетом перекрывания излучения в соседних окнах (метод «Spillover») и по специально отработанной для данного набора изотопов оригинальной программе с вычитанием комптоновского фона в прилежащих участках спектра. Результаты определений в том и другом случаях практически совпадали, что подтверждает адекватность полученных данных.

В качестве обобщенной характеристики содержания всех радионуклидов использовался показатель суммарной γ -активности ($\Sigma\gamma$) по счету в области энергий от 10 до

* Режимы и окна при измерениях активности:

^{241}Am — 45-90 кэВ (каналы 74-108 в логарифмическом спектре); ^{137}Cs — 600-800 (каналы 196-212); ^{60}Co — 1100-1400 (каналы 226-238); ^{40}K — 1400-1600 кэВ (каналы 238-244); $(^{90}\text{Sr})4+^{90}\text{Y}$ — тормозное излучение в области энергий от 90 до 600 кэВ (каналы 108-196). Суммарное время счета отдельной пробы — от 1 до 2-3 ч.

2000 кэВ (каналы 2-255), выраженной в СРМ/г (СРМ = скорость счёта в имп/мин).

Результаты и их обсуждение

Результаты анализов в почвенных разрезах (табл.1) показали очень большую неоднородность вертикального распределения радионуклидов в почвах и грунтах экскавационных отвалов близ озера. По-видимому, это связано с «волнами» оседания грунта, выброшенного при взрыве. Слои с наибольшим содержанием радионуклидов находятся, как правило, на некоторой глубине ниже поверхности (рис. 4-5). Практически во всех выполненных разрезах кривые вертикального распределения отдельных нуклидов имели примерно одинаковый вид, что говорит об отсутствии эффекта фракционирования радионуклидов при их оседании.

Имеющиеся данные не позволяют говорить и о существенных проявлениях вертикальной миграции радионуклидов в нижележащие слои подпочвенного грунта. В большинстве разрезов уже на глубине 50~100 см от поверхности (или до 100-150 см на более мощных восточных отвалах) уровни радиоактивного загрязнения снижаются почти до нуля. В разрезе Р. (рис. 5)

некоторое накопление по всем нуклидам на глубине 125—150 см связано, возможно, именно с вымыванием из вышележащих горизонтов, представляющих собой песчаную породу, и вторичным отложением (закреплением) в глинистом слое.

Обнаружение на месте взрыва ^{241}Am , причем в довольно значительных количествах, опровергает утверждения некоторых специалистов (см., например, обзорную статью Е.Тараканова [7]), что в «мирных» взрывах экскавационного типа использовались урановые заряды с ^{235}U , а не плутониевые, «с опасным для людей» ^{239}Pu (и с еще более опасным ^{241}Am , который позднее образуется из ^{241}Pu).

Превращение ^{241}Pu в ^{241}Am ко времени экспедиции завершилось лишь на 73%, так что в будущем содержание последнего будет ещё возрастать (примерно на 1/3 по сравнению с уровнем 1998 г.).

Содержание ^{60}Co , как отмечалось выше, в большинстве почвенных проб сопоставимо с содержанием ^{137}Cs , а иногда даже превышает последнее. О существенной роли ^{60}Co в техногенном загрязнении объекта в прошедшие годы сообщалось в некоторых опубликованных документах (например, в [3]). Впрочем, в будущем актив-

Таблица 1

Содержание радионуклидов по почвенным профилям

Глубина, см	Горизонт	Удельная активность, Бк/кг					Σ СРМ/г
		²⁴¹ Am	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co	⁴⁰ K	
P₁ (Ю-З, на отвале, γ-фон 70 мкР/ч)							
0-2	A ₀ A ₁ , суглинок	116	752	361	255	238	41
2-5	A ₁ «	303	1439	705	628	624	86
5-10	A ₁ A ₂ , л.сугл.	61	1051	876	235	609	66
10-15	«	14	435	73	30	447	12
15-20	B, темн., сугл.	20	451	15	32	451	10
20-25	«	74	655	141	151	418	23
25-30	«	16	367	94	*	458	10
30-35	Песок сл.-желез.	9	264	28	10	371	6
35-40	Легк.сугл.	11	216	20	*	449	6
40-45	Средн. сугл.	11	304	50	*	451	8
Бурение							
0-25		138	705	192	249	491	33
25-50		16	408	55	*	463	10
50-75	Прочно-связан.	13	387	45	*	530	9
75-100	«	12	363	25	7	415	8
100-125	«	17	372	14	*	554	7
125-150	«	12	336	18	*	591	7
150-175	Оглеен.,каменист	9	289	1	*	520	6
175-200	«	17	283	8	*	504	6
P₂ (З, на отвале, γ-фон 140 мкР/ч)							
0-1	A ₀ A ₁ ср.сугл.	207	647	425	332	432	48
1-5	A ₁ A ₂ ср.сугл.	215	845	570	366	441	59
5-10	«	203	950	794	368	492	70
10-15	«	263	1122	769	464	558	77
15-20	A ₂ B с камен. вкл.	221	1474	1302	439	573	100
20-25	B, песок+кам.вкл.	494	2656	2995	978	-	224
25-30	песок/л.сугл.	467	3009	2428	958	-	201
30-35	«	338	1826	2384	571	-	175
35-40	Тонкий песок	19	1055	1302	39	468	74
40-45	«	**	1031	1085	17	409	64
45-50	«	**	721	607	17	390	37
50-55	«	**	726	459	16	392	31
Бурение							
0-25		126	752	544	254	371	48
25-50		102	542	433	166	498	39
50-75	Супесь	110	363	102	106	363	18
75-100	«	8	327	131	23	422	13
100-125	Суглинок	*	610	628	6	426	38

Продолжение табл. 1

Глубина, см	Горизонт	Удельная активность, Бк/кг					Σγ, СРМ/г
		²⁴¹ Am	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co	⁴⁰ K	
125-150	Песок/супесь	5	549	405	14	319	27
150-175	«	37	678	576	77	320	40
175-200	«	11	342	104	32	265	11
200-225	Супесь	182	1094	769	317	322	67
225-250	«	4	654	497	46	210	34
250-275	«	8	379	193	9	371	16
Р₃ (З, на берегу, в 3 м от воды, γ-фон 160 мкР/ч)							
0	Fe-окалина	22	524	9	8	381	10
0-5	A ₀ A ₁ , л.сугл.	264	1127	907	482	560	84
5-10	A ₁ , л.сугл.	341	1401	1078	611	635	103
10-15	«	298	1404	919	527	422	89
15-20	A ₁ B, л.сугл.	346	1722	1099	627	427	106
20-25	« ср.сугл.	223	1399	911	451	401	83
25-30	Песок-супесь	23	359	78	36	238	10
30-35	«	8	211	*	3	206	3
35-40	«	8	158	*	5	402	4
Р₄ (на С-кромке острова, γ-фон 135 мкР/ч)							
0-2	A ₀	379	1288	644	732	412	89
2-5	A ₀ A ₁	650	2252	1518	1284	-	172
5-10	A ₁ , ср.сугл.	495	2176	1383	1061	-	149
10-15	Ср.-тяж.сугл.	367	1482	744	796	-	97
15-20	«	177	770	196	322	-	38
20-26	A ₁ A ₂ , т. сугл. оглеен.	68	465	100	140	-	21
26-32	«	3	437	15	11	549	8
32-37	B, темн., сугл.	24	435	39	22	417	11
37-42	«	7	407	13	5	411	7
42-48	«	2	275	7	*	344	5
Р₅ (Ю-В, на верху отвала, γ-фон 680 мкР/ч)							
0-0,5	A ₀	385	5749	1156	957	-	182
0,5-1,5	A ₀ A ₁	854	3012	2069	1777	-	232
1,5-5	A ₁ , суп./л. сугл.	1735	6164	3107	3415	-	410
5-10	«	1793	6211	3833	3625	-	458
10-15	A ₁ , ср.сугл.+камни	636	2974	1734	1272	-	198
15-20	B, ср.-т. сугл.+камни	132	1318	455	303	558	55
20-25	Тяж.сугл.+камни	122	1083	522	265	592	53
25-30	Тяж.сугл./глина	107	884	328	215	450	40
30-35	«	9	506	81	26	478	14
35-40	«	7	475	48	17	381	11

Продолжение табл. 1

Глубина, см	Горизонт	Удельная активность, Бк/кг					$\Sigma \gamma$, СРМ/г
		^{241}Am	^{90}Sr	^{137}Cs	^{60}Co	^{40}K	
40-45	Ср.сугл.	113	1384	758	302	500	68
45-50	«	147	1737	1121	360	552	92
Бурение							
50-75	Ср.-тяж.сугл.	139	1627	931	353	470	79
75-100	Супесь/песок	116	694	223	234	470	33
100-125	Песок слоистый	71	564	234	156	355	28
125-150	Песок/супесь	15	290	87	33	251	11
150-175	«	8	317	41	25	100	7
175-200	Песок+камни	15	251	54	24	271	9
200-210	Песок	17	293	51	30	221	9
210-220	Глина (водоуп.)	*	249	81	*	398	9
Разрез Р₆ (С-З, на высоком отвале, γ-фон 550 мкР/ч)							
0-1,5	A ₀	1602	4626	4368	4055	-	481
1,5-5	A ₁ , легк. сугл.	1611	6449	5197	4071	-	533
5-10	A ₁ B, просл. торфа	995	3730	3312	2356	-	331
«	л. сугл./песок	292	1998	1222	860	-	125
10-15	легк. сугл.+Fe	27	715	199	75	-	24
15-20	ср. сугл.	377	1913	846	973	-	113
«	Fe-включения	148	1629	863	419	-	83
20-25	ср. сугл. оглеен.	395	2563	1168	1083	-	142
25-30	«	1601	3659	1747	3973	-	339
30-35	B, сугл.+камни	475	2678	2070	1263	-	195
35-40	«	615	3034	2308	1597	-	230
40-45	«	205	2179	1706	625	-	137
45-50	Сугл.+глина	549	2732	1746	1360	-	186
Бурение							
50-75	Сугл.+песок	112	1189	539	311	483	55
75-100	«	38	524	108	86	368	18
100-125	Супесь темноцв.	35	513	166	85	378	20
125-150	Тяж. сугл.+камни	108	1061	819	346	627	71
150-160	Глина+Fe-конкр. (глубже 160-камни)	15	629	324	73	562	28

Примечание: * — менее 5-10, ** — менее 30-50 Бк/кг.

ность ^{60}Co будет довольно быстро снижаться; уже к лету 2002 г. она должна уменьшиться в 1,7 раза по сравнению с уровнем 1998 г.

Высокое содержание ^{90}Sr в большинстве проб (как правило, больше содержания ^{137}Cs) отличается от привычных соотношений между

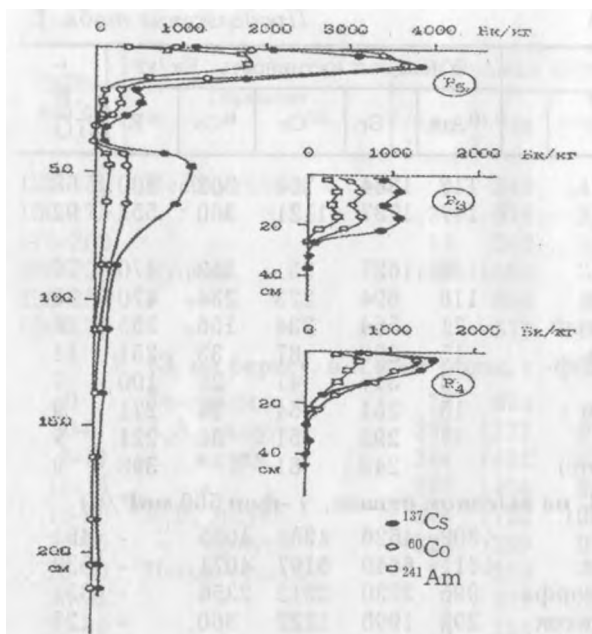


Рис. 4. Профили распределения радионуклидов в почвенных разрезах P_3 , P_4 и P_5 (радиационный фон над поверхностью 160, 135 и 680 мкР/ч).

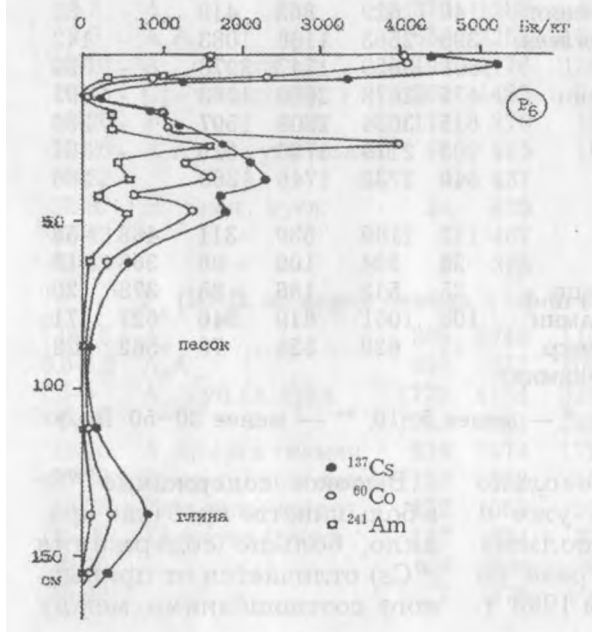


Рис. 5. Профили распределения радионуклидов в почвенном разрезе P_6 (радиационный фон над поверхностью 550 мкР/ч).

этими двумя радионуклидами при загрязнении реакторного происхождения. В почвах чернобыльской зоны, например, содержание ^{90}Sr обычно в 5-10 раз ниже содержания ^{137}Cs . Возможно, это объясняется той особенностью экскавационных ядерных взрывов с выбросом грунта, которая состоит в дополнительном загрязнении поверхности от оседания «вторичных» аэрозолей, образующихся от истечения инертных радиоактивных газов (ИРГ) [1, 5]. Такие короткоживущие ИРГ, как ^{39}Kr и ^{137}Xe ($T_{1/2}$ порядка 3-4 мин) при распаде дают ^{89}Sr и ^{137}Cs , а из ^{90}Kr ($T_{1/2}$ 32 с) с ещё большей вероятностью образуется ^{90}Sr . Вклад ^{89}Sr ($T_{1/2}$ 51 сут) в общую активность весьма заметен в 1-й год после выпадения, другие образующиеся из ИРГ нуклиды являются долгоживущими. В подтверждение сказанного отметим, что в воде искусственного водохранилища, созданного в результате осуществления взрыва «Чаган» (экскавационного типа), концентрация ^{90}Sr во все 25 лет наблюдений была неизменно на порядок выше концентрации ^{137}Cs [6]. Другой причиной относительного обеднения радиоактивных продуктов в отношении ^{137}Cs могла быть значительная летучесть этого элемента, т.е. проявление эффекта фракциониро-

вания радионуклидов в момент взрыва.

Донные отложения в образовавшемся после взрыва озере в настоящее время показывают значительные уровни загрязнения по всем отмеченным радионуклидам. Однако вблизи от береговой линии радиоактивность придонного материала сравнительно небольшая. Более загрязненные отложения обнаруживаются только с определенной глубины (начиная примерно с отметок 2,5—3 м, т.е. на расстоянии примерно 10 м от береговой линии — см. табл. 2). Радиационный фон над поверхностью водного зеркала понижен — сказывается экранирующее действие воды. Сама вода в озере практически нерадиоактивна: большая часть радионуклидов из воды перешла в материал донных отложений, сосредоточенных, как сказано, на глубине более 2,5 м. Вода в озере имеет высокую степень минерализации (до 2500 мг/л); возможно, этим объясняется ее красивый палево-голубой оттенок, в связи с чем участники экспедиции предложили назвать это до сих пор безымянное озеро «Голубым».

Вопрос о вероятной продолжительности сохранения радиационно-опасной ситуации на исследуемом объекте требует специального рассмотрения. По прогнозу

Таблица 2

Промеры глубин, γ -фона над водой и содержания радионуклидов в донных отложениях по профилю П, (от западного берега до острова)

Расстояние от берега, м	Глубина, м	γ -фон, мкР/ч	Удельная активность грунта, Бк/кг					$\Sigma \gamma$, СРМ/г
			^{241}Am	^{90}Sr	^{137}Cs	^{60}Co	^{40}K	
-2	(на берегу)	12-15						
0	0	10-11	*	180	5	*	336	4
2	0,5	7,5	4	192	6	*	315	4
5	1,5	7	5	241	4	4	350	5
7	2,0	7	5	309	28	5	418	7
8	2,2	7	3	296	44	13	420	8
9	2,5	6	14	384	100	5	413	13
10	2,7	6	462	1396	649	877	-	97
25-30	3,2	5						
30-50	5,0	5						
70-90	6-7	4-5						
120-140	7,5	4						
145	7,8	4						
150-155	6,0	4						
160	0,5	7-9						
165	(на острове)	до 260						

Примечание: * — менее 5-10 Бк/кг.

ВНИПИ-промтехнологии [3], в наиболее загрязненных точках навала уровни радиации станут близки к фону в 2100 г. Если учитывать только скорость распада основного нуклида ^{137}Cs , интенсивность γ -фона к этому году должна снизиться примерно в 10 раз, т.е. до уровня порядка 70 мкР/ч (максимальные значения в 1998 г. — около 700 мкР/ч). Нормальный же фон в регионе — около 4-5 мкР/ч. Однако более правильным был бы расчет, основанный не на фи-

зическом периоде полураспада ($T_{1/2}$), а на эффективном периоде получения местности ($T_{\text{эфф}}$). Опираясь на значения $T_{\text{эфф}}$, полученные в других регионах страны, в данном случае вряд ли оправдано в связи с большой специфичностью объекта. Оценка $T_{\text{эфф}}$ требует проведения специальных наблюдений за реальной динамикой содержания радионуклидов в почвах объекта. Насколько нам известно, такие наблюдения после 1976 г. не проводились. Ни в 1994 г. (при

первом посещении), ни в 1998 г., при многократных обходах озера мы не обнаружили никаких следов проведения соответствующих работ. По-видимому, все посещения объекта представителями разных официальных организаций (последние посещения — в 1993 и 1996 гг.) ограничивались лишь «контрольными наблюдениями», т.е. замерами фона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочаров В.С., Зеленцов С.А., Михайлов В.Н. Характеристика 96 подземных ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне. — Атомная энергия, 1989, т. 67, вып. 3. — 2. Дубасов Ю.В., Кедровский О.Л., Касаткин В.В. и др. Подземные взрывы ядерных устройств в промышленных целях на территории СССР в 1965-1988 гг.: Хронология и радиационные последствия. — Бюлл. ЦОИАЭ, 1994, № 1, с. 18-29. — 3. Лебедева Т.М. Мирный атом: Тридцать лет спустя. — Газ. «Звезда» (Пермь), 10.10.1997. — 4. Москалев Ю.И., Булдаков Л.А., Любчанский Э.Р. и др. Проблемы радиобиологии амери-

ция-241. М.: Атомиздат, 1977. — 5. Семипалатинский полигон. Обеспечение общей и радиационной безопасности ядерных испытаний. М.: ФУ Медбиоэкстрем, 1997. — 6. Смагулов С.Г., Боярский П.В., Дубасов Ю.В. и др. Характеристика исходных данных радиационного состояния эпицентральной зоны объекта «Чаган» — экскавационного подземного ядерного взрыва для создания искусственного водохранилища. — Изв. НАН Респ. Казахстан, сер. физ.-мат., 1994, № 6, с. 79-97. — 7. Тараканов Е. Подземные ядерные взрывы в интересах народного хозяйства (экологический аспект). — Бюлл. ЦОИАЭ, 1998, № 3-4, с. 25-29. — 8. Хэнсон У.С. (ред.). Трансурановые элементы в окружающей среде. М.: Энергоатомиздат, 1985. — 9. Челюканов В.В., Никитин А.И. и др. О радиационной обстановке в Пермской области. — Бюлл. ЦОИАЭ, 1992, № 2, с. 72-74. — 10. Якимец В. Подземные ядерные взрывы в мирных целях в Якутии. — В кн.: Ядерная энциклопедия /Под ред. А.А. Ярошинской. М.: 1996, с. 211-212.

Статья поступила
7 июня 2002 г.