

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА В РЕГИОНАХ УРАЛА ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ В АТМОСФЕРЕ*

В. А. Логачев

Государственный научный центр – Институт биофизики Федерального управления «Медбиоэкстрем» при Минздраве России (г. Москва, Россия)

1. Введение

Среди вопросов, представляющих большой научный и практический интерес, немногие приковывают к себе постоянное и столь пристальное внимание общественности, а также вызывают так много споров, как вопрос о последствиях действия радиации на человека и природную среду после ядерных испытаний (ЯИ) или крупных радиационных аварий. Естественно, знания в этой области не являются абсолютными даже в настоящее время, когда об источниках радиации, о действии радиации на живой организм, в частности на человека, известно значительно больше, чем о любом другом факторе, который может оказать вредное воздействие на природную среду и ее обитателей.

Известно, что при проведении испытаний ядерного оружия (ЯО) в атмосфере часть радиоактивных веществ (РВ) могла выпадать вблизи места взрыва, а какая-то часть задерживаться в среднем до месяца в тропосфере и затем, будучи подхваченная воздушными потоками, перемещаться на большие расстояния, постепенно выпадая на землю. Такие выпадения были названы промежуточными или тропосферными. При мощных ядерных взрывах (ЯВ) радиоактивные продукты могли забрасываться в стратосферу и оттуда поступать в приземный слой воздуха только через год, формируя тем самым глобальный радиационный фон (глобальные выпадения).

Выпадение на землю РВ после ядерных взрывов в атмосфере, которые осуществлялись США, СССР, Великобританией, Францией и Китаем, т. е. государствами-«членами ядерного клуба», стало причиной радиоактивного загрязнения природной среды и облучения ионизирующими излучениями ее обитателей.

В настоящей статье представлены результаты ретроспективной оценки масштабов и степени возможного радиоактивного загрязнения окружающей среды и доз облучения населения регионов Уральского федерального округа (УФО) после проведения в 1949–1962 гг. ядерных испытаний в атмосфере на полигонах бывшего Советского Союза. Основой для такой оценки стали данные, полученные в ходе проводимых в разные годы обследований территорий регионов, которые вхо-

* Печатается по публикации: Логачев В. А. Радиоэкологическая обстановка в регионах Урала после проведения ядерных испытаний в атмосфере // Урал. Радиация. Реабилитация. (отв. ред. В. Н. Чуканов). Екатеринбург : УрО РАН, 2004. С 104–127.

дят в состав УФО, а именно, территорий Курганской, Свердловской, Тюменской и Челябинской областей, а также Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов (АО). Кроме того, были использованы материалы архивного хранения, содержащие результаты проводимых после каждого испытания радиационных разведок, а также литературные и расчетные данные.

Как известно, на масштабы и степень радиоактивного загрязнения окружающей среды оказывали влияние вид и мощность ЯВ. Результаты анализа архивных материалов, в которых представлены данные радиационных разведок, проводимых в период ядерных испытаний, свидетельствуют о том, что основное влияние на радиоактивное загрязнение местности и объектов окружающей среды оказали атмосферные ядерные испытания. Следует отметить, что при подземных ЯИ почти все РВ оставались в полостях взрывов, причем даже в тех случаях, когда возникали нештатные радиационные ситуации. Поэтому при оценке масштабов и степени радиоактивного загрязнения территории УФО, естественно, учитывались только ядерные взрывы, которые осуществлялись в атмосфере на полигонах СССР. Однако несомненный интерес могут представлять и сведения о проведении атмосферных ядерных испытаний на различных полигонах мира странами-«членами ядерного клуба».

2. Основные данные о проведении ядерных испытаний на полигонах мира

По результатам анализа и обобщения сведений, имеющихся в литературе и различного рода документах о проведении ядерными державами испытаний [1–7], составлена табл. 1, в которой представлены краткие сведения из истории таких испытаний, а также данные об их количестве, суммарной мощности ЯИ в атмосфере, суммарной мощности атмосферных испытаний по делению и о доли суммарной мощности ЯИ в атмосфере по делению от общей мощности.

Таблица 1. Основные данные о ядерных испытаниях, проводимых США, СССР, Великобританией, Францией и Китаем

Основное событие в истории ядерных испытаний	Даты проведения ядерных испытаний государствами-«членами ядерного клуба»				
	США	СССР	Великобритания	Франция	Китай
1	2	3	4	5	6
Первое ядерное испытание	16.07.1945	29.08.1949	03.10.1952	13.02.1960	16.10.1964
Первое воздушное ЯИ (сброс ядерной бомбы с самолета)	06.08.1945	18.10.1951	11.10.1956	19.07.1966	14.05.1965
Первое ЯИ мощного двухстадийного термоядерного заряда	28.02.1954	22.11.1955	28.04.1958	24.08.1968	17.06.1967

Окончание табл. 1.

1	2	3	4	5	6
Последнее ЯИ в атмосфере	09.06.1963	25.12.1962	23.09.1958	14.09.1974	16.10.1980
Первое подземное ЯИ	29.11.1951	11.10.1961	01.03.1962	07.11.1961	23.09.1969
Последнее ядерное испытание (под землей)	23.09.1992	24.10.1990	26.11.1991	27.01.1996	29.07.1996
Общее количество ядерных испытаний, из них в атмосфере	1032* 217	715 219	45 21	210 45	47 23
Суммарная мощность ЯИ в атмосфере, Мт	153,8	246,3	8,1	10,1	20,7
Суммарная мощность ЯИ в атмосфере по делению, Мт	67,9	65,7	5,5	6,4	10,3
Доля суммарной мощности ЯИ в атмосфере по делению от общей мощности, %	44	27	68	63	50

Примечание. * Без учета ядерных испытаний Великобритании на Невадском испытательном полигоне (НИП) США. Государства-«члены ядерного клуба» провели в различных природных средах всего 2 049 ядерных испытаний.

Приведенные в табл. 1 данные свидетельствуют о том, что всеми ядерными державами мира было осуществлено в атмосфере 525 ЯВ, в том числе США – 217 взрывов, СССР – 219, включая воздушный взрыв в ходе общевоинского учения на Тоцком полигоне и наземный взрыв в Приаральских Каракумах, Великобританией – 21, Францией – 45, Китаем – 23 взрыва. Суммарная мощность всех ядерных взрывов в атмосфере составила 439 Мт.

Советский Союз ядерные испытания в атмосфере проводил в основном на двух полигонах: на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) и на Северном испытательном полигоне Новая Земля (СИПНЗ) [5, 8–11]. Кроме того, на площадках ракетного полигона Капустин Яр было осуществлено 10 высотных и космических взрывов мощностью от 1 до 300 кг, один наземный взрыв мощностью 0,3 кт – в Приаральских Каракумах в районе г. Аральска и один воздушный взрыв мощностью 40 кт – на Тоцком артиллерийском полигоне во время общевоинского учения. Данные об испытаниях ядерного оружия в атмосфере на СИП и СИПНЗ, а также о количестве биологически опасных РВ, выброшенных в атмосферу в период проведения этих испытаний, представлены в табл. 2.

Таблица 2. Данные об атмосферных ядерных испытаниях, осуществлявшихся на СИП и СИПНЗ

Вид испытания	Количество испытаний	Тритиловый эквивалент, Мт	Количество РВ, выброшенных в атмосферу в период испытаний, МКи	
			Сз-137	8г-90
1. СИП				
Воздушные	86	6,0	0,20	0,12
Наземные	30	0,6	0,056	0,035
2. СИПНЗ				
Воздушные	85	240	9,2	6,0
Наземные	1	0,032	0,002	0,001
Надводные	2	0,020	0,001	0,0005
Подводные	3	0,020	0,005	0,003
ИТОГО	207	~246,6	~9,5	~6,1

Из общего количества ЯИ, которые были проведены на всех полигонах СССР, более 95 % приходится на испытания, осуществлявшиеся на СИП и СИПНЗ. При этом количество испытаний было практически одинаковым на обоих полигонах, а суммарная мощность ЯВ на СИПНЗ была примерно в 35 раз больше, чем на СИП. В Советском Союзе вне границ полигонов было осуществлено 117 подземных промышленных ЯВ для народно-хозяйственных целей [12].

Результаты радиационных разведок и проводимых в разные годы исследований радиационной обстановки как на территории полигона, так и за ее пределами после проведения различных видов ядерных взрывов (наземные, воздушные, подводные, надводные, подземные) свидетельствовали о том, что наиболее сильное радиоактивное загрязнение внешней среды происходит после наземных ЯВ [2, 3]. Они также являются главной причиной облучения населения прилегающих к полигону районов.

Анализ закономерностей формирования радиоактивного загрязнения внешней среды после ЯВ различных видов показал, что распределение РВ в разных средах после воздушных и наземных взрывов существенно отличается. Так, после наземных ЯВ основная доля РВ выпадает в районе воронки взрыва и на ближнем (локальном) следе, при этом происходит сильное радиоактивное загрязнение внешней среды со значительными дозами излучения на местности. Радиоактивное загрязнение местности после воздушных и особенно после высоких воздушных ЯВ связано главным образом с глобальным выпадением РВ практически на всей территории Северного полушария Земли.

Важно отметить, что большое значение для оценки масштабов и степени радиоактивного загрязнения территорий различных регионов СССР, в частности регионов, которые в настоящее время относятся к УФО, а также доз облучения проживавшего на этих территориях населения после ядерных испытаний имели результаты работ, проводимых совместно специалистами службы радиационной безопасности полигонов, Института биофизики Минздрава СССР, Третьего главного управления при Минздраве СССР, Института прикладной геофизики Госкомгид-

ромета СССР, учреждений Минобороны СССР. Для расчетов использовались разработанные специалистами этих организаций и различных ведомств методы прогнозирования радиационной обстановки (РО) на следах ЯВ в ближней и дальней зонах, а также оценки доз внешнего и внутреннего облучения населения.

Результаты анализа, изучения и обобщения данных о радиационной обстановке вблизи ядерных полигонов мира позволяют утверждать, что площади локальных следов и территорий, загрязненных ближайшими после взрывов в атмосфере тропосферными (промежуточными) выпадениями, относительно небольшие. Подтверждением тому является обстановка вокруг СИП и СИПНЗ.

3. Последствия проведения ядерных испытаний на полигонах СССР

Следует отметить, и об этом свидетельствуют приведенные ниже сведения, что основной вклад в радиоактивное загрязнение окружающей среды после испытаний на Семипалатинском полигоне внесли наземные ядерные взрывы, а на Новоземельском – воздушные ЯИ, поскольку, как известно, на этом полигоне был произведен лишь один небольшой по мощности наземный ЯВ, локальный след от которого в основном сформировался на территории полигона. При воздушных взрывах ядерных зарядов крупного и сверхкрупного калибров, которые в основном осуществлялись на СИПНЗ, основная масса РВ «забрасывалась» в стратосферу, откуда они попадали на поверхность земли в виде глобальных выпадений [8, 10].

3.1. Последствия проведения ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне

Как уже было отмечено, на масштабы и степень радиоактивного загрязнения окружающей среды оказали влияние наземные ядерные взрывы, основная часть которых (30 из 32) была осуществлена на СИП. В табл. 3 представлены данные, характеризующие наземные ядерные взрывы, произведенные на этом полигоне, а также сведения о количестве биологически значимых радионуклидов, поступивших в атмосферу после таких взрывов и оказавших влияние на формирование радиационной обстановки в районах, прилегающих к полигону.

Таблица 3. Данные, характеризующие наземные ядерные взрывы, осуществленные на СИП, и количество биологически значимых радионуклидов, выброшенных при этом в атмосферу [8, 13]

№ п/п	Дата проведения	Энерговыделение (ТЭ), кТ	Высота взрыва, м	Количество биологически значимых радионуклидов, выброшенных в атмосферу, Ки		
				Зг-90	С5-137	Ри-239-240
1	2	3	4	5	6	7
1	29.08.1949	22	30	1 500	4 200	360
2	24.09.1951	38	30	2 700	7 500	300
3	12.08.1953	400	30	22 000	29 000	280

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
4	05.10.1954	4	0	300	840	105
5	19.10	0	15	0	0	215
6	30.10	10	50	750	2 100	100
7	29.07.1955	1,3	2,5	120	300	245
8	02.08	11,5	2,5	1 050	1 800	200
9	05.08	1,2	1,5	105	180	215
10	21.09	1,2	1,5	105	180	215
11	16.03.1956	13,2	0,4	1 600	2 500	240
12	25.03	5,5	1	360	600	190
13	24.08	26,5	100	2 200	3 800	90
14	09.09.1961	0,4	0	42	70	225
15	14.09	0,4	0	42	70	250
16	18.09	0,004	1	–	–	250
17	19.09	0,003	0	–	–	250
18	03.11	0	0	–	–	230
19	04.11	0,15	0	11	19	195
20	07.08.1962	10	0	930	1 600	200
21	22.09	0,2	0	17	29	280
22	25.09	7	0	650	1 100	205
23	05.11	0,4	15	40	70	190
24	11.11	0,1	8	8	13	210
25	13.11	0	0	–	–	210
26	24.11	0	0	–	–	140
27	26.11	0,03	0	–	–	210
28	23.12	0	0	–	–	210
29	24.12	0,007	0	–	–	250
30	24.12	0,03	0	–	–	295

Примечание. 1 Ки = $3,7 \times 10$ Бк (беккерей).

К ЯВ, обусловившим наиболее значительное загрязнение внешней среды с дозами облучения населения выше установленных пределов, следует отнести лишь 4 наземных ЯВ, которые были осуществлены 29 августа 1949 г., 24 сентября 1951 г., 12 августа 1953 г. и 24 августа 1956 г. Это были основные дозообразующие взрывы. Положение образовавшихся после них радиоактивных следов показано на рис. 1. Остальные наземные ядерные взрывы были либо очень малой мощности, либо осуществлялись в условиях такой метеообстановки, при которой радиоактивные следы формировались практически полностью на запретной территории полигона.

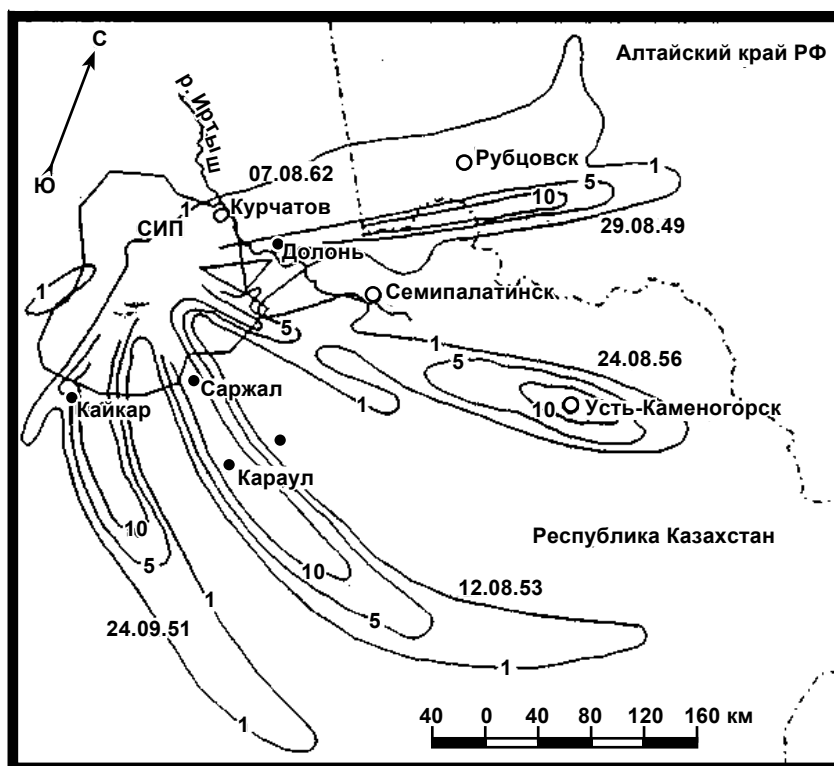


Рис. 1. Положение основных дозообразующих следов наземных ядерных взрывов, осуществленных на СИП, с указанием значений доз гамма-излучения на местности до полного распада РВ (в рентгенах)

После каждого ЯВ или серии испытаний ЯО службой радиационной безопасности (РБ) полигона проводились измерения мощностей доз гамма-излучения на местности с использованием средств воздушной и наземной радиационных разведок (РР), исследования степени загрязнения объектов природной среды, продуктов питания местного производства, а также оценка степени влияния радиационных факторов на здоровье участников испытаний и местного населения [14–17]. Результаты именно такого рода исследований позволяют утверждать, что наиболее значимые масштабы и степень радиоактивного загрязнения местности отмечались после осуществления 12 августа 1953 г. первого наземного термоядерного взрыва мощностью 400 кт.

Следует отметить, что при подготовке проведения этого самого мощного наземного ЯВ (табл. 3) основной мерой обеспечения безопасности местного населения явилась его временная эвакуация из сектора, в котором, по прогнозу специалистов, мог сформироваться радиоактивный след. Из всех населенных пунктов, расположенных на территории сектора радиусом до 120 км от места взрыва, были эвакуированы все жители (2 250 человек) и вывезено более 44 тыс. голов скота. Жители поселков, расположенных на расстояниях от 120 км до 250 км, вместе с частью жителей поселков, находящихся на более близком к опытному полю расстоянии, всего 12 794 человека, были компактно размещены в 9 населенных пунктах, расположенных за пределами обозначенного сектора. Все они находились в постоянной готовности к возможной последующей эвакуации на транспортных средствах в случае угрозы выпадения РВ. В безопасный район было вывезено более 390 тыс. голов скота.

В эвакуации населения и обеспечении его безопасности участвовали представители Правительства КазССР и Семипалатинского облисполкома, а также

163 офицера, 205 сержантов и солдат. Для эвакуации и поддержания жизнедеятельности людей было использовано 620 грузовых автомашин. Жители поселка Караул (Абай) возвратились в свои дома через 10 дней после взрыва, поселка Саржал – только через 16 дней, когда уровни радиации снизились до безопасных [18].

Основой при разработке мероприятий по обеспечению радиационной безопасности являлись межведомственные нормативы, которые изменялись и корректировались по мере накопления сведений о биологических последствиях воздействия ионизирующих излучений на живые организмы [19].

Образовавшееся после термоядерного взрыва радиоактивное облако, достигнув высоты 16 км, примерно через час после взрыва разделилось на три отдельные части в соответствии с направлениями ветров на разных высотах. Средняя часть облака, которая двигалась на высоте от 6 до 9 км, развернулась сначала в направлении на северо-восток, а затем – на запад и на вторые сутки прошло над территориями регионов УФО. При этом дозы облучения населения этих регионов не превышали 0,05 Р (0,5 мЗв), что значительно ниже санитарно-гигиенического норматива. На рис. 2 представлена карта-схема, характеризующая радиационную обстановку на территориях регионов Урала после проведения 12 августа 1953 г. на Семипалатинском полигоне первого термоядерного наземного взрыва.

Таким образом, можно утверждать, что после проведения ядерных испытаний на СИП масштабы и степень радиоактивного загрязнения окружающей среды в регионах УФО и дозы облучения населения этих регионов были незначительные.

3.2. Последствия проведения ядерных испытаний на Новоземельском полигоне

В период проведения ядерных испытаний в атмосфере на полигоне, расположенном на архипелаге Новая Земля (СИПНЗ), было осуществлено большое количество воздушных взрывов ядерных зарядов мегатонного класса, а также три подводных, два надводных и один небольшой по мощности наземный взрыв на берегу губы Черная. Следует отметить, что после проведения этих испытаний в атмосфере и под водой отмечалось повышение гамма-фона на материковой части страны побережья Ледовитого океана, однако суммарные дозы облучения населения, как правило, не превышали санитарно-гигиенические нормативы.

После подводных и надводных ядерных взрывов радиоактивное загрязнение воздуха и подстилающей поверхности наблюдалось лишь на расстояниях менее 300 км от эпицентров взрывов [10]. Главной причиной радиоактивного загрязнения окружающей среды на материковой части территории РФ, т. е. в дальней зоне от испытательных площадок полигона, стали воздушные взрывы ядерных зарядов мегатонного класса (до 20 Мт и один взрыв до 50 Мт).

На СИПНЗ за весь период проведения ядерных испытаний в атмосфере (1955–1962 гг.), который можно условно разделить на три этапа, были осуществлены самые мощные воздушные ядерные взрывы не только в СССР, но и во всем мире. Из 85 воздушных взрывов 36 имели тротильный эквивалент около одной мегатонны и более, один, самый мощный взрыв в мире (30 октября 1961 г.), – около 50 Мт и четыре взрыва – примерно по 20 Мт. Эти взрывы в основном определяли радиационную обстановку на территории страны. Причем из трех условных этапов проведения атмосферных испытаний на Новоземельском полигоне основной вклад в масштабы радиоактивного загрязнения окружающей среды внесли второй и третий, о чем свидетельствуют данные, приведенные в табл. 4.

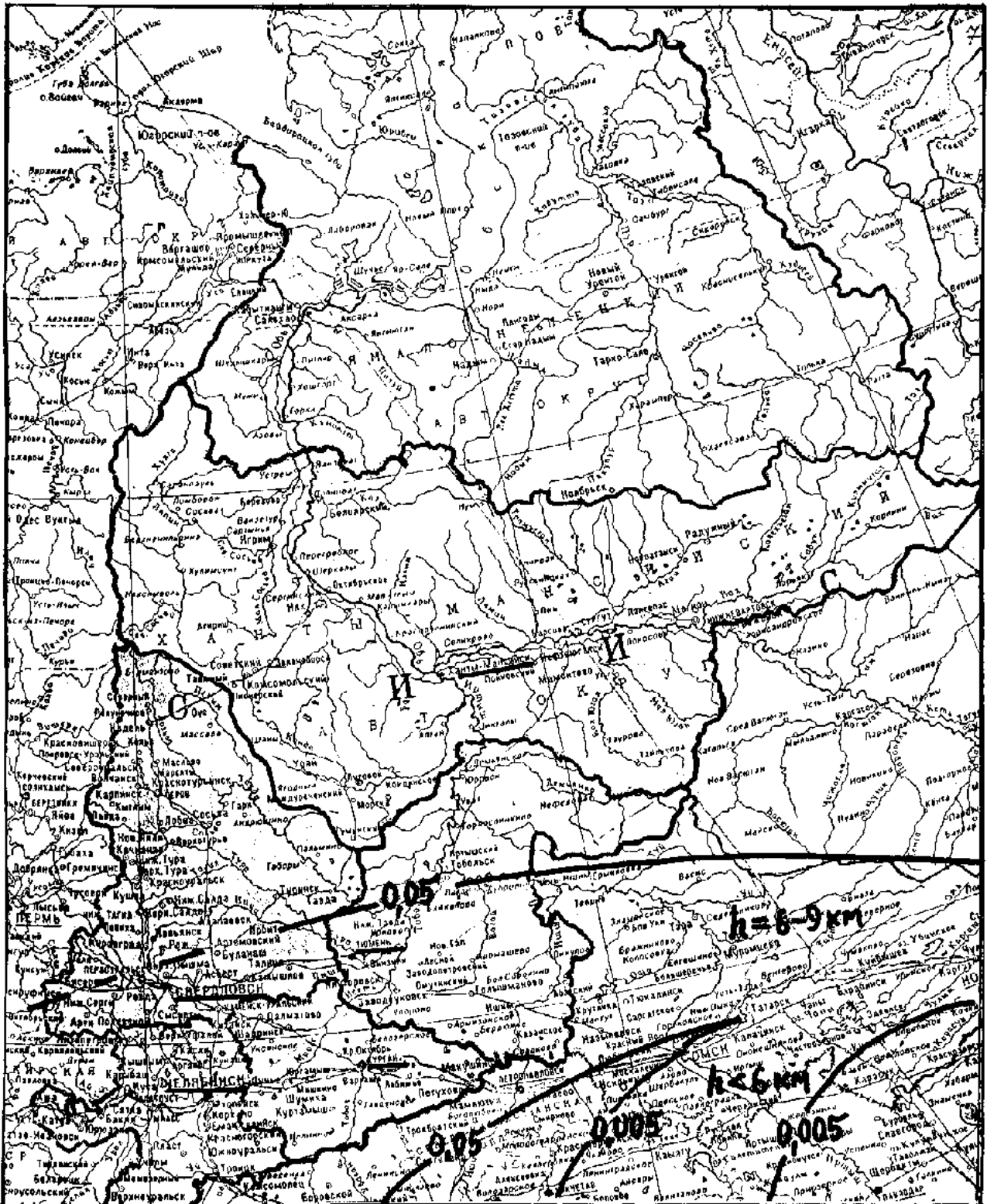


Рис. 2. Карта-схема возможной радиационной обстановки на территории регионов Урала после прохождения отдельных частей радиоактивного облака наземного ядерного взрыва мощностью 400 кт, осуществленного 12 августа 1953 г. на Семипалатинском полигоне. Показано положение изолиний доз гамма-излучения на местности до полного распада РВ (в рентгенах)

Таблица 4. Характеристика трех этапов проведения атмосферных ядерных испытаний на СИПНЗ в течение 1955–1962 гг.

Этап	Годы проведения испытаний	Вид взрыва	Количество взрывов	Суммарный тротиловый эквивалент, кт	Вклад взрывов каждого этапа в суммарный тротиловый эквивалент всех атмосферных испытаний, %
Первый	1955–1958	наземный	1	20 675	8,7
		подводный	2		
		воздушный	26		
Второй	1961	подводный	1	86 240	36,0
		надводный	1		
		воздушный	24		
Третий	1962	надводный	1	132 710	55,3
		воздушный	35		
ИТОГО			91	239 625	100

Примечание. Между первым и вторым этапами ядерных испытаний действовал почти двухлетний мораторий.

Для ретроспективной оценки доз гамма-излучения на местности и доз внешнего облучения населения в дальних зонах после второго периода испытаний (1961 г.) были использованы экспериментальные данные о плотностях загрязнения территорий Урала, Западной и Восточной Сибири, полученные по результатам гамма-спектрометрических измерений проб объектов окружающей среды (снежного покрова, лишайника и др.). Результаты этих исследований, получивших название «Воздух», изложены в работах Ю. А. Израэля с сотрудниками [1, 20 и др.], П. В. Рамзаева с сотрудниками [21, 22 и др.], В. И. Филипповского с сотрудниками [23 и др.], В. А. Логачева с сотрудниками [10, 11 и др.] и других исследователей [24 и др.].

В 1962 г. в период с 16 марта по 21 апреля проводилось обследование обширной территории на северо-западе страны по маршруту Ленинград – Петрозаводск – Беломорск – Кировск – Мурманск – Североморск – Нарьян-Мар – Амдерма – Новая Земля – о. Вайгач – мыс Каменный – п-в Ямал – о. Белый – Диксон – Дудинка – Норильск – Амдерма – Воркута – Ухта – Сыктывкар – Ленинград с целью определения границ и степени загрязнения объектов внешней среды выпавшими радиоактивными продуктами.

По результатам анализа имеющихся данных можно сделать важный вывод о том, что на обследованной территории выделяются две области загрязнения, причем каждая область имеет структуру радиоактивного следа, сформированного прохождением нескольких облаков воздушных ядерных взрывов, но только один след имеет южное направление, а другой – юго-восточное. Именно на южном радиоактивном следе и находится территория регионов УФО.

На рис. 3 показаны направления движения радиоактивных облаков, образовавшихся после осуществления на СИПНЗ наиболее мощных ядерных взрывов. Из приведенных на этом рисунке данных следует, что южный след мог быть сформирован

рован выпадениями от взрывов, произведенных 4 октября 1961 г. (1,5–10 Мт) и 23 октября 1961 г. (12,5 Мт), а в образование юго-восточного следа основной вклад мог внести самый мощный взрыв (около 50 Мт), осуществленный 30 октября 1961 г.

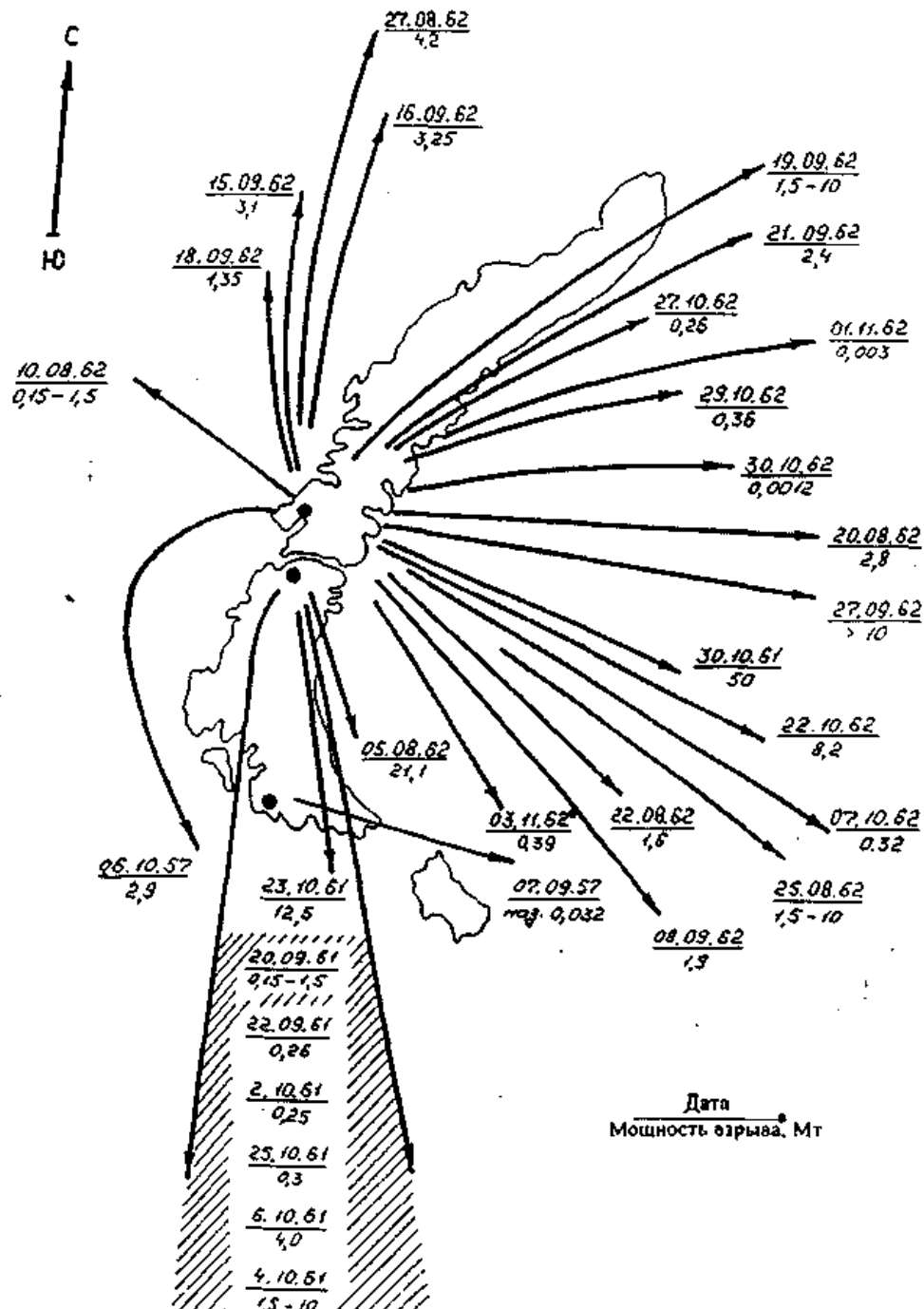


Рис. 3. Направления движения радиоактивных облаков, образовавшихся после осуществления ядерных взрывов в атмосфере на Новоземельском полигоне

Для ретроспективной оценки доз гамма-излучения на местности и доз внешнего облучения населения в зонах радиоактивного загрязнения территорий от Урала до Восточной Сибири были использованы результаты анализа проб снежного покрова и данные о закономерностях изменения активности продуктов взрывов во времени. На рис. 4 представлена карта-схема, характеризующая радиационную обстановку на территории УФО после проведения ЯИ в атмосфере на СИПНЗ. На этой

карте-схеме показано положение изолиний доз гамма-излучения на местности от момента образования радиоактивного загрязнения после каждого ядерного взрыва до полного распада РВ.

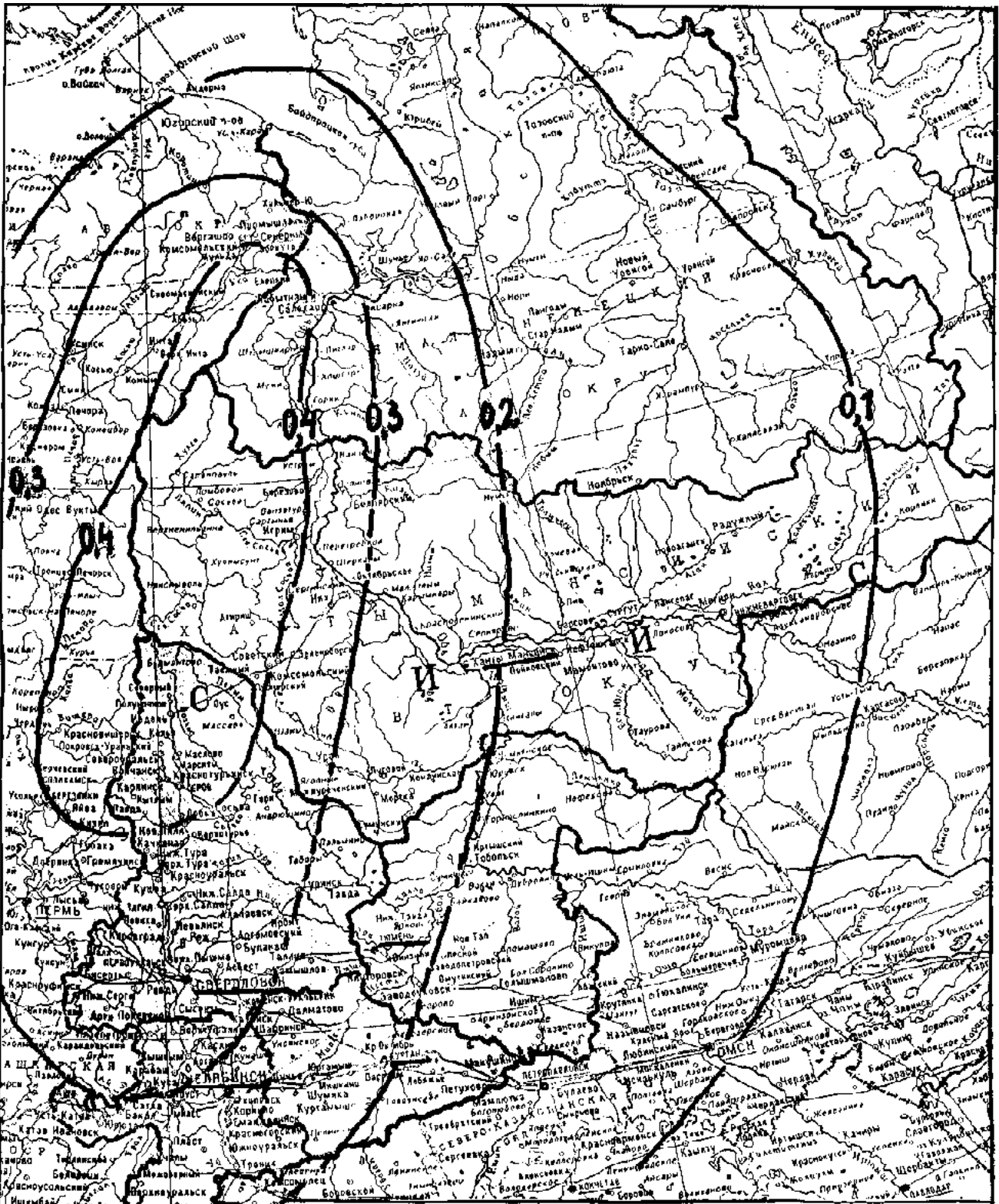


Рис. 4. Положение изолиний доз гамма-излучения на местности до полного распада продуктов взрывов (в рентгенах). Изолинии построены по результатам измерений содержания радионуклидов в объектах внешней среды (коэффициент запаса в пользу населения равен 2).

Масштаб 1:8 000 000

По результатам расчетов и анализов проб объектов природной среды (почва, растения, вода и др.), которые отбирались в ходе обследований территорий регионов Урала и Сибири, было установлено, что максимальному загрязнению после ядерных испытаний на СИПНЗ подверглась территория, расположенная юго-восточнее населенного пункта Волочанка в Красноярском крае (юго-восточное направление распространения продуктов взрывов). Но даже в этом регионе, как и в других регионах УФО, максимальные дозы внешнего облучения населения за весь период проведения на Новоземельском полигоне ЯИ в атмосфере, который равен семи годам, не могли превысить 20 мЗв.

Как известно, кроме внешнего, существует и внутреннее облучение. Одним из основных путей поступления продуктов ядерных взрывов в организм человека является пероральный, т. е. с пищей и водой.

Кроме анализов проб снега, что имело очень важное значение для оценки доз гамма-излучения на местности в период работы экспедиции в 1962 г., т. е. в год окончания ядерных испытаний в атмосфере, были проведены исследования по определению степени загрязнения пищевых продуктов, мяса северных оленей, организма человека. Полученные при этом результаты были использованы для оценки доз внутреннего облучения населения, которое проживало в регионах, расположенных в зоне влияния ядерных испытаний на СИПНЗ. Помимо этих данных, были использованы также архивные материалы, содержащие экспериментальные данные о степени загрязнения местности суммарной активностью и отдельными биологически опасными радионуклидами, о содержании радиоактивных веществ в объектах внешней среды, в воде, продуктах питания, в организме человека, а также в выделениях людей и животных (кале и моче). Совокупность этих данных позволила надежно, с максимальной достоверностью оценить дозы внутреннего облучения.

Как известно, наиболее биологически опасным радионуклидом, формирующим максимальную дозу внутреннего облучения, является ^{137}Cs . Однако после прекращения ядерных испытаний в атмосфере отмечалось отсутствие повышенной плотности загрязнения этим радионуклидом местности на локальных (полуглобальных) радиоактивных следах, сформировавшихся в основном после ядерных испытаний, которые были осуществлены 23 и 30 октября 1961 г. Кроме того, можно отметить относительно равномерное распределение плотности загрязнения Cs территории страны на разных расстояниях от полигона. Это свидетельствует о том, что загрязнение почвы этим биологически опасным радионуклидом в основном было связано с глобальными выпадениями [20, 21, 25].

Величины доз внутреннего облучения населения различных регионов страны в период проведения ядерных испытаний в атмосфере были связаны с природно-климатическими особенностями этих регионов, а значит, и с особенностями формирования доз внешнего облучения. Поскольку регионы располагаются в различных географических зонах, то целесообразно рассмотреть основные закономерности формирования доз внешнего облучения людей от выпадений ^{137}Cs в характерных для северных регионов страны зонах. Основная доля радиоактивных выпадений после ядерных испытаний на СИПНЗ приходилась на такие географические зоны, как тундра и лесотундра, хвойные леса и смешанные леса. Величины доз внешнего облучения населения в этих зонах представлены в табл. 5.

Таблица 5. Годовые дозы облучения населения в различных географических зонах глобальных выпадений ^{137}Cs по состоянию на 1963 г. [26]

Географическая зона	Атмосферные осадки, мм/год	Запас ^{137}Cs , мКи/км ²	Средняя доза внешнего облучения от выпадений ^{137}Cs , мбэр/год	Доза внешнего облучения от естественных источников (почва, космос, атмосферный радон), мбэр/год	Вклад излучения ^{137}Cs в суммарную дозу от всех источников внешнего облучения, %
Тундра и лесотундра	150–600	70	3,6	46,7	7
Хвойный лес (тайга)	300–900	120	6,1	57,4	10
Смешанный лес	450–900	120	4,6	72,5	6

Данные табл. 5 свидетельствуют о том, что глобальные выпадения ^{137}Cs незначительно увеличивают дозу внешнего облучения, но вносят основной вклад в дозу внутреннего облучения населения, особенно населения, проживавшего в зоне тундры и лесотундры, где большое значение приобретает пищевая цепочка «лишайник – олень – человек». Молочная цепочка практического значения не имеет, поскольку широтные условия Крайнего Севера мало пригодны для содержания молочного скота.

Следует отметить, что вклад ^{137}Cs в дозу внутреннего облучения пастухов-оленьеводов в 10 раз превышает вклад ^{90}Sr , поэтому радиационно-гигиенической значимостью ^{90}Sr можно пренебречь и учитывать только вклад ^{137}Cs в дозу внутреннего облучения населения. Это важное обстоятельство экспериментально было подтверждено в ходе экспедиционного обследования северных территорий в марте–апреле 1962 г. при определении с помощью прибора РУС-5 и специального детектора излучений содержания ^{90}Sr в зубах жителей Крайнего Севера [26].

В процессе обследований было также установлено, что в организме жителей Крайнего Севера, которое не занимается оленеводством, содержание радионуклидов в 10–100 раз ниже, чем в организме пастухов-оленьеводов, а в организме жителей крупных городов, расположенных на северных территориях, не отличается от содержания этих радионуклидов в организме жителей других регионов Российской Федерации.

4. Ранжирование регионов Российской Федерации по дозам внешнего облучения населения

Представленные выше данные свидетельствуют о том, что основным параметром, характеризующим радиационную обстановку на территориях регионов Российской Федерации, находящихся в зонах влияния деятельности Семипалатинского и Новоземельского полигонов, являются дозы гамма-излучения на местности до полного распада РВ. Для оценки таких доз, ориентировочные величины которых приведены в табл. 6, были использованы данные, полученные в ходе радиоэкологических обследований территорий различных регионов СССР, архивные материалы, содержащие результаты радиационных разведок, проводившихся после каждого ядерного испытания, а также специальные математические программы.

Таблица 6. Ориентировочные данные о дозах внешнего облучения населения (до полного распада РВ) различных регионов Российской Федерации, расположенных в зонах влияния ядерных испытаний, проводившихся в атмосфере на СИП и СИПНЗ

Регион	Удаление от полигона, тыс. км	Количество населения, проживающего на загрязненной территории, тыс. чел.	Максимальная доза внешнего облучения, сЗв	Средняя доза внешнего облучения населения региона, сЗв	Коллективная доза внешнего облучения. тыс.чел. · Зв
1	2	3	4	5	6
1. ЗОНА ВЛИЯНИЯ ИСПЫТАНИИ НА НОВОЗЕМЕЛЬСКОМ ПОЛИГОНЕ					
Красноярский край (без автономных округов)	1,3–3,0	2 693	0,7	0,10	3
Таймырский (Долгано-Ненецкий АО)	0,9–2,2	48	2	1,0	0,5
Эвенкийский АО	1,6–2,4	17	1,5	0,7	0,12
Республика Саха (Якутия)	2,0–3,7	883	1	0,8	7
Тюменская обл. (без автономных округов)	1,8–2,2	1165	0,3	0,15	1,8
Ямало-Ненецкий АО	0,5–1,8	193	0,4	0,13	0,25
Ханты-Мансийский АО	0,9–1,9	673	0,3	0,17	4,9
Пермская обл. (без автономных округов)	1,3–2,0	2 830	0,3	0,17	4,9
Магаданская обл. вместе с Чукотским АО	3,8–4,5	490	0,6	0,25	1,2
Республика Коми	0,8–1,6	1 147	0,4	0,17	2
Хабаровский край	3,6–4,5	1 610	0,6	0,2	3,2
Ненецкий АО Архангельской обл.	0,4–0,8	50	0,3	0,10	0,5
Удмуртская Республика	1,7–2,0	1 516	0,2	0,11	1,6
Свердловская обл.	1,4–2,0	4 500	0,3	0,20	9,5
Курганская обл.	2,0–2,2	1 085	0,2	0,14	1,5
Челябинская обл.	2,0–2,4	3 480	0,2	0,14	4,8
Республика Башкортостан	2,0–2,4	3 865	0,2	0,10	4
Омская обл.	1,9–2,4	1 963	0,15	0,10	2
Республика Татарстан	1,9–2,2	3 453	0,15	0,06	2,4

Окончание табл. 6.

1	2	3	4	5	6
Иркутская обл.	2,6–3,4	2 616	0,3	0,005	0,8
Читинская обл.	3,4–3,9	1 258	0,2	0,001	0,15
ВСЕГО	–	35 535	–	0,15	52,27
2. ЗОНА ВЛИЯНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ПОЛИГОНЕ					
Алтайский край	0,14–0,7	2 514	52	0,5	13,5
Республика Алтай	0,4–0,8	174	0,5	0,2	0,3
Республика Хакасия	0,7–1,0	508	0,2	0,15	0,76
Новосибирская обл.	0,5–0,7	2 657	1	0,05	1,44
Кемеровская обл.	0,7–1,0	2 990	1	0,06	1,64
Красноярский край	0,9–2,2	600	0,12	0,04	0,24
Иркутская обл.	1,3–2,7	1 340	0,1	0,04	0,47
Читинская обл.	2,0–3,0	1 258	0,05	0,04	0,44
Томская обл.	0,7–1,3	887	0,15	0,04	0,35
ВСЕГО	–	15 928	–	0,12	19,14

Данные табл. 6. свидетельствуют о том, что некоторые регионы находились в зоне влияния атмосферных испытаний, проводившихся на обоих ядерных полигонах. Поскольку накопление дозы внешнего облучения в такой зоне происходило в течение нескольких лет, то это позволяет сделать важный вывод: годовые дозы внешнего облучения населения всех регионов Российской Федерации, кроме Алтайского края, в результате проведения ядерных испытаний на обоих полигонах не превышали допустимые санитарно-гигиенических нормативы. При этом размеры зоны влияния деятельности Новоземельского полигона были значительно больше, чем Семипалатинского. Радиоактивному загрязнению после новоземельских испытаний подверглось примерно 2/3 территории Российской Федерации с населением около 35 млн человек, годовые дозы облучения которых могли в два раза превышать фоновые значения.

Необходимо сказать о том, что подземные ядерные испытания, которые проводились на обоих полигонах почти в течение 30 лет после окончания в 1962 г. испытаний в атмосфере, не оказали никакого влияния на увеличение доз облучения населения РФ, причем даже в тех случаях, когда возникали нештатные радиационные ситуации.

Результаты анализа имеющихся архивных данных, характеризующих особенности формирования радиационной обстановки при подземных ядерных взрывах, свидетельствуют о том, что проведение на полигонах мира подземных испытаний практически не внесло какого-либо значимого вклада в радиоактивное загрязнение как в целом территории Северного полушария Земли, так и отдельных его регионов, прилегающих к ядерным полигонам. Это объясняется тем, что принятый комплекс мер по локализации продуктов ядерных взрывов под землей являлся эффективным и в основном обеспечивал радиационную безопасность, даже если происходило истечение в атмосферу радиоактивных инертных газов в незначительных количествах, которые практически не приводили к выделению радиоактивных осадков в виде изотопов стронция или цезия.

5. Заключение

В настоящем докладе представлены результаты ретроспективной оценки доз облучения населения УФО, проживавшего в зонах влияния атмосферных ядерных испытаний, которые проводились на Семипалатинском и Новоземельском полигонах. При подготовке материалов доклада были использованы результаты анализа и обобщения архивных материалов с данными радиационных разведок, осуществлявшихся в период ЯИ на полигонах, а также результаты обследований территорий регионов Урала и северных регионов РФ, в процессе которых проводились измерения мощностей доз гамма-излучения на местности, отбор и анализ проб объектов природной среды (почва, растения, вода и др.), продуктов питания местного производства, а также проб выделений организма человека и животных для определения в них содержания радионуклидов.

Результаты обобщения материалов архивного хранения, содержащих данные обследований северных территорий РФ, свидетельствуют о том, что ядерные испытания на СИПНЗ, расположенном на островах, которые находятся на значительном расстоянии от густонаселенных районов материковой части северных территорий, не могли нанести значимого ущерба здоровью населения этих районов и способствовать возникновению рисков, превышающих приемлемые для общества уровни. Поэтому на материковой части РФ не следует планировать и проводить какие-либо мероприятия по ликвидации последствий ядерных испытаний в атмосфере на СИПНЗ, т. е. мероприятия по реабилитации территорий, расположенных в зоне влияния деятельности этого полигона (исключение составляют лишь его испытательные площадки).

Результаты обследований территорий, расположенных в зоне влияния деятельности Семипалатинского полигона, как и Новоземельского, позволяют утверждать, что все параметры РО практически не отличаются от параметров глобального радиационного фона и не представляют какой-либо опасности для населения на фоне действующих на него природных и социально-бытовых факторов.

Естественно, нельзя отрицать, что испытания ЯО на Семипалатинском и Новоземельском (ныне Центральный полигон России) полигонах стали причиной радиоактивного загрязнения территорий ряда регионов РФ. Однако ограниченные знания о масштабах такого загрязнения, неквалифицированные подходы к оценке степени влияния ЯИ на здоровье населения и на изменение медико-демографической ситуации стали причиной появления публикаций, способствующих увеличению радиофобии среди жителей многих регионов бывшего СССР.

6. Список литературы

1. Израэль, Ю. А. Радиоактивные выпадения после ядерных взрывов и аварий / Ю. А. Израэль // СПб. : Прогресс-погода, 1996. – 355 с.
2. Ядерные испытания СССР. Т. 1. Цели. Общие характеристики. Организация ядерных испытаний СССР. Первые ядерные испытания / Кол. авторов под рук. В. Н. Михайлова. – Саров : РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1997. – 286 с.
3. Известные ядерные испытания, проведенные в мире в 1945–1994 гг. // Бюлл. Центра общ. инф. по атом. энергии. – 1996. – № 1. – С. 32–43.
4. United States Nuclear Tests July 1945 Through September 1992. – USA. – 1993. – P. 59+38.
5. Испытания ядерного оружия и ядерные взрывы в мирных целях СССР. 1949–1990 гг. / Кол. авторов под рук. В. Н. Михайлова. – Саров : РФЯЦ ВНИИЭФ. – 1996. – 66 с.

6. Ядерные испытания СССР Т. 2. / Кол. авторов под рук. В. Н. Михайлова. – Саров : РФЯЦ ЭНИИЭФ, 1998. – 302 с.
7. *Махонько, К. П.* Радиоактивные продукты в атмосфере СССР от Китайских ядерных взрывов / К. П. Махонько, Л. Н. Павлова // СПб. : Гидрометеоздат, 2001. – 132 с.
8. Ядерные испытания СССР. Семипалатинский полигон: обеспечение общей и радиационной безопасности ядерных испытаний / Кол. авторов под рук. В. А. Логачева. – М.: Вторая типография ФУ «Медбиоэкстрем» при Минздраве России. – 1997. – 319 с.
9. *Логачев, В. А.* Радиоактивное загрязнение природной среды после проведения ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне / В. А. Логачев, Л. А. Михалихина, О. И. Шамов // Медицина экстремальных ситуаций. – 2000. – № 1 (4). – С. 61–75.
10. Ядерные испытания СССР. Новоземельский полигон: обеспечение общей и радиационной безопасности ядерных испытаний / Кол. авторов под рук. В. А. Логачева. – М. : ИздАт, 2000. – 487 с.
11. *Логачев, В. А.* Радиоактивное загрязнение территории Российской Федерации после проведения ядерных испытаний на Новоземельском полигоне / В. А. Логачев, Л. А. Михалихина, О. И. Шамов // Медицина экстремальных ситуаций. – 1999. – № 3. – С. 49–61.
12. Ядерные испытания СССР. Мирные ядерные взрывы: обеспечение общей и радиационной безопасности при их проведении / Кол. авторов под рук. В. А. Логачева. – М. : ИздАТ, 2001. – 519 с.
13. *Дубасов, Ю. В.* Хронология ядерных испытаний в атмосфере на Семипалатинском полигоне и их радиационная характеристика / Ю. В. Дубасов, С. А. Зеленцов, В. А. Логачев, А. М. Матущенко [и др.] // Вести, научн. прогр. «Семипалатинский полигон – Алтай». – 1994. – № 4. – С. 78–86.
14. *Кобзев, А. Ф.* Характеристика радиационной обстановки в районах, прилегающих к месту испытаний ядерного оружия, и состояние здоровья местного населения / А. Ф. Кобзев, В. З. Агрант, Ю. С. Степанов [и др.] // Отчет о НИР. Фонды ФУ «Медбиоэкстрем». – М. – 1959.
15. *Степанов, Ю. С.* Исследование радиационной обстановки в районах, прилегающих к зоне полигона для испытаний ядерного оружия / Ю. С. Степанов. – Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – Фонды ГНЦ РФ-ИБФ. – М., 1963.
16. *Кобзев, А. Ф.* Результаты изучения радиологической обстановки в некоторых районах Семипалатинской и Павлодарской областей Казахской ССР в 1959 году / А. Ф. Кобзев, В. Г. Рядов, С. Л. Турапин, Ю. С. Степанов [и др.] // Отчет о НИР. Фонды ГНЦ РФ-ИБФ. – М., 1960. – 312 с.
17. *Енько, А. В.* Отчет по измерениям следа радиоактивного облака осколков деления (на П-2 в 1949 г.) / А. В. Енько, И. В. Ремезов, В. В. Алексеев, А. И. Хованович. – Учебный полигон № 2 МВС СССР, 1949. – 20 с.
18. *Логачев, В. А.* Создание базы архивных данных о радиационной обстановке, сложившейся после проведения ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне / В. А. Логачев, Л. А. Логачева, А. П. Долгих, Ю. С. Степанов, О. Н. Шамов // Доклад на семинаре «Международная кооперация и ведение природоохранных баз данных по радиоактивным загрязнениям». – М., 1995. – 14 с.
19. *Логачев, В. А.* Принципы обеспечения радиационной безопасности населения и реализации экологических требований при проведении на Семипалатинском полигоне ядерных испытаний в атмосфере / В. А. Логачев, Л. А. Логачева // Тезисы докладов на II Междунар. конф. по проблемам нераспростр. ядерного оружия. – Курчатов, 1998. – С. 30–37.

20. *Израэль, Ю. А.* Радиоактивное загрязнение бывшего СССР от испытательных ядерных взрывов на Новой Земле в 1961 г. / Ю. А. Израэль, А. С. Волков, А. Ф. Ковалев // Метеорология и гидрология. – 1995. – № 5.
21. *Рамзаев, П. В.* Оценка радиационной обстановки и состояния здоровья населения районов, прилегающих к Новоземельскому испытательному полигону / П. В. Рамзаев, Г. И. Мирецкий, О. Н. Прокофьев [и др.] // Отчет о НИР. Фонды С.-Петербургского НИИРГ. – 1992. – 142 с.
22. *Рамзаев, П. В.* Гигиеническая оценка радиационной обстановки в районах, прилегающих к Новоземельскому испытательному полигону / П. В. Рамзаев, Г. И. Мирецкий, М. Н. Троицкая [и др.] // Отчет о НИР. Фонды ЛНИИРГ, 1991. – 70 с.
23. *Филипповский, В. Н.* Радиоактивное воздействие ядерных взрывов в регионе испытательного полигона «Новая Земля» / В. Н. Филипповский, А. Ф. Ткаченко, К. Г. Васильев [и др.] // Отчет о НИР в. ч. 70170, 1991. – 43 с.
24. *Коптелов, Е. И.* Дело, которому служу всю жизнь / Е. И. Коптелов // Частицы отданной жизни. – М. : ИздАТ, 1999. – С. 209–235.
25. *Liden, K.* Relationship and seasonal variation of ¹³⁷Cs in lichen, reindeer and man in Northern Sweden 1961–1965 / K. Liden, M. Gustafsson // Radiobiological Concentration Processes, Oxford. – 1967. – P. 193–208.
26. *Степанов, Ю. С.* Характеристика радиационной обстановки в регионе, прилегающем к ядерному полигону на Новой Земле (1961–1975 гг.) / Ю. С. Степанов, В. А. Логачев, Н. А. Богданенко // Отчет НИР. Фонды ГНЦ РФ-ИБФ, 1996. – 14 с.

References

1. *Israel, Y. A.* Radioactive fallout after nuclear explosions and accidents / Y. A. Israel // St. Petersburg : Progress-pogoda, 1996. – 355 p.
2. Nuclear tests of the USSR. V. 1. Goals. General characteristics. Organization of nuclear tests in the USSR. The first nuclear tests / Qty. authors at hand. V. N. Mikhailova. – Sarov : RFNC-VNIIEF, 1997. – 286 p.
3. Famous nuclear tests carried out in the world in 1945–1994 // Bull. Center general. inf. by atom. energy. – 1996. – No. 1. – P. 32–43.
4. United States Nuclear Tests July 1945 Through September 1992. – USA. – 1993. – P. 59+38.
5. Tests of nuclear weapons and nuclear explosions for peaceful purposes of the USSR. 1949–1990 / Qty. authors at hand. V. N. Mikhailova. – Sarov : RFNC VNIIEF, 1996. – 66 p.
6. Nuclear tests of the USSR. V. 2 / Col. authors at hand. V. N. Mikhailova. – Sarov : RFNC ENIIEF, 1998. – 302 p.
7. *Makhonko, K. P.* Radioactive products in the atmosphere of the USSR from Chinese nuclear explosions / K. P. Makhonko, L. N. Pavlova // St. Petersburg : Gidrometeoizdat, 2001. – 132 p.
8. Nuclear tests of the USSR. Semipalatinsk test site: ensuring the general and radiation safety of nuclear tests / Qty. authors at hand. V. A. Logacheva. – М. : The second printing house of the Federal University «Medbioekstrem» under the Ministry of Health of Russia. – 1997. – 319 p.
9. *Logachev, V. A.* Radioactive contamination of the natural environment after nuclear tests at the Semipalatinsk test site / V. A. Logachev, L. A. Mikhailikhina, O. I. Shamov // Medicine of extreme situations. – 2000. – No. 1 (4). – P. 61–75.

10. Nuclear tests of the USSR. Novaya Zemlya test site: ensuring the general and radiation safety of nuclear tests / Qty. authors at hand. V. A. Logacheva. – M. : Publishing house. – 2000. – 487 p.
11. *Logachev, V. A.* Radioactive contamination of the territory of the Russian Federation after nuclear tests at the Novaya Zemlya test site / V. A. Logachev, L. A. Mikhailikhina, O. I. Shamov // *Medicine of extreme situations*. – M. : 1999. – No. 3. – P. 49–61.
12. Nuclear tests of the USSR. Peaceful nuclear explosions: ensuring general and radiation safety during their implementation / Qty. authors at hand. V. A. Logacheva. – M. : Publishing House. – 2001. – 519 p.
13. *Dubasov, Y. V.* Chronology of nuclear tests in the atmosphere at the Semipalatinsk test site and their radiation characteristics / Y. V. Dubasov, S. A. Zelentsov, V. A. Logachev, A. M. Matushchenko [et al.] // *News, scientific prog. «Semipalatinsk test site – Altai»*. – 1994. – No. 4. – P. 78–86.
14. *Kobzev, A. F.* Characteristics of the radiation situation in areas adjacent to the site of nuclear weapons testing, and the state of health of the local population / A. F. Kobzev, V. Z. Agrant, Y. S. Stepanov [et al.] // *Research report. Funds of FU «Medbioextreme»*. – M. – 1959.
15. *Stepanov, Y. S.* Investigation of the radiation situation in areas adjacent to the zone of the nuclear weapons test site / Y. S. Stepanov. – Diss. for the competition uch. Art. cand. tech. Sciences. – Funds of the SSC RF-IBF. – M., 1963.
16. *Kobzev, A. F.* Results of the study of the radiological situation in some areas of the Semipalatinsk and Pavlodar regions of the Kazakh SSR in 1959 / A. F. Kobzev, V. G. Ryadov, S. L. Turapin, Y. S. Stepanov [et al.] // *Research report. Funds of the SSC RF-IBF*. – M. – 1960. – 312 p.
17. *Yenko, A. V.* Report on measurements of the trace of a radioactive cloud of fission fragments (at P-2 in 1949) / A. V. Yenko, I. V. Remezov, V. V. Alekseev, A. I. Khovonovich // *Training ground No. 2 of the MVS of the USSR*. – 1949. – 20 p.
18. *Logachev, V. A.* Report at the seminar «International cooperation and maintenance of environmental databases on radioactive contamination» / V. A. Logachev, A. P. Dolgikh, Y. S. Stepanov, O. N. Shamov // *M.*, 1995. – 14 p.
19. *Logachev, V. A.* Principles of Ensuring Radiation Safety of the Population and Implementation of Ecological Requirements in Conducting Atmospheric Nuclear Tests at the Semipalatinsk Test Site. Abstracts of Reports for II Intern. conf. on non-proliferation issues. nuclear weapons / V. A. Logachev, L. A. Logachev // *Kurchatov*, 1998. – P. 30–37.
20. *Izrael, Y. A.* Radioactive contamination of the former USSR from test nuclear explosions on Novaya Zemlya in 1961 / Y. A. Izrael, A. S. Volkov, A. F. Kovalev // *Meteorology and Hydrology*. – 1995. – No. 5.
21. *Ramzaev, P. V.* Assessment of the radiation situation and the state of health of the population of the areas adjacent to the Novaya Zemlya test site / P. V. Ramzaev, G. I. Miretsky, O. N. Prokofiev [et al.] // *Research report. Funds of the St. Petersburg Research Institute*. – 1992. – 142 p.
22. *Ramzaev, P. V.* Hygienic assessment of the radiation situation in the areas adjacent to the Novaya Zemlya test site / P. V. Ramzaev, G. I. Miretsky, M. N. Troitskaya [et al.] // *Research report. Funds LNIIRG*. – 1991. – 70 p.
23. *Filippovsky, V. N.* Radioactive impact of nuclear explosions in the region of the test site «Novaya Zemlya» / V. N. Filippovsky, A. F. Tkachenko, K. G. Vasiliev [et al.] // *Report on Research work m. b. 70170*, 1991. – 43 p.

24. *Koptelov, E. I.* The business that I serve all my life / E. I. Koptelov // In the book. Parts of a given life. – M. : Publishing house. – 1999. – P. 209–235.
25. *Liden, K.* Relationship and seasonal variation of ¹³⁷Cs in lichen, reindeer and man in Northern Sweden 1961–1965 / K. Liden, M. Gustafsson // Radiobiological Concentration Processes, Oxford. – 1967. – P. 193–208.
26. *Stepanov, Y. S.* Characteristics of the radiation situation in the region adjacent to the nuclear test site at Novaya Zemlya (1961–1975) / Y. S. Stepanov, V. A. Logachev, N. A. Bogdanenko // Research report. Funds of the SSC RF-IBF. – 1996. – 14 p.