

УДК 504.75.05

А. Б. Спиридонова, О. А. Савватеева**ВУРС: динамика и прогноз**

Представлен анализ экологических последствий аварии, произошедшей 29 сентября 1957 г. на ПО «Маяк» из-за выхода из строя системы охлаждения, где в течение 10–11 часов радиоактивные вещества выпали на протяжении 300–350 км в северо-восточном направлении от места взрыва, образовав Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС). К настоящему времени концентрация радионуклидов в различных экосистемах снизилась в сотни-тысячи раз, причем наиболее быстро этот процесс шел в первые пять лет. В настоящее время радиоактивное загрязнение территории в районе предприятия определяется в основном ^{90}Sr , ^{137}Cs и, в значительно меньшей степени, плутонием, что обуславливает долговременный характер его воздействия. До сих пор сохраняется необходимость оценки степени опасности хозяйствования на значительных по площади загрязнённых территориях.

В работе приведены современные данные о происходящих процессах на территории ВУРСа. Рассмотрены научные основы оценки воздействия поллютантов на биоту, а также изучена динамика радиоактивной обстановки и прогноз до 2047 г.

Ключевые слова: ВУРС, динамика, прогноз, стронций, цезий, радиация, авария, техногенная авария, радиоактивное загрязнение.

Об авторах

Спиридонова Анастасия Борисовна – студент-магистр кафедры экологии и наук о Земле государственного университета «Дубна». E-mail: naspiri@yandex.ru. Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская 19/3, кв. 305а.

Савватеева Ольга Александровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и наук о Земле государственного университета «Дубна».

29 сентября 1957 г. в 16:22 на ПО «Маяк», расположенном в городе Озёрске Челябинской области, из-за выхода из строя системы охлаждения произошёл взрыв ёмкости объёмом 300 м³, где содержалось около 80 м³ высокорadioактивных ядерных отходов. Мощность взрыва оценена в 70–100 т. в тротиловом эквиваленте, ёмкость была разрушена, бетонное перекрытие толщиной 1 м и весом 160 т отброшено в сторону. В атмосферу было выброшено около 20 МКи (7,4·10¹⁷ Бк) радиоактивных веществ ($^{144}\text{Ce}+^{144}\text{Pr}$, $^{95}\text{Nb}+^{95}\text{Zr}$, ^{90}Sr , ^{137}Cs , изотопы плутония и др.), из которых примерно 18 МКи выпало на территории ПО «Маяк», а около 2 МКи – за её пределами, образовав Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС). Непосредственно от взрыва никто не погиб.

Наземные и водные экосистемы территории ВУРСа (озёра Урускуль, Бердениш, Кожаккуль, река Караболка, болото Бугай и др.) были загрязнены радиоактивными веществами. В головной части следа наблюдалась массовая гибель отдельных звеньев экосистем (сосна,

ряд видов травянистых растений, почвенная фауна и др.). Суммарная бета-активность воды достигала в начальный период 1000–10 000 Бк/л; уровни загрязнения почвы в головной части ВУРСа достигали 2000 Ки/км² и выше. Основную роль в долговременном загрязнении наземных и водных систем играет ^{90}Sr .

Современная радиационная обстановка в районе предприятия «Маяк» сформировалась в 1950–1960 гг. в результате следующих радиационных аварий и инцидентов:

– регламентных и аварийных сбросов ЖРО радиохимического производства в р. Теча в период с 1949 по 1956 гг. Пойма и донные отложения р. Теча до настоящего времени загрязнены радионуклидами (в основном ^{90}Sr и ^{137}Cs), а иловые отложения в верхней части реки классифицируются как ТРО;

– регламентных и аварийных газоаэрозольных выбросов осколочных радионуклидов из высоких труб реакторного и радиохимического производства в период с 1950 по 1960 гг., когда отсутствовали эффективные методы газоочистки;

– взрыва ёмкости с жидкими высокоактивными отходами радиохимического произ-

водства в 1957 г. с выбросом в атмосферу $7,4 \cdot 10^{17}$ Бк (20 МКи) бета-излучающих радионуклидов;

– ветрового выноса в 1967 г. донных отложений с обнажившихся берегов водоема В-9 (оз. Карачай), использовавшегося в качестве

хранилища жидких среднеактивных отходов радиохимического производства.

Сильно загрязненными оказались территории Челябинской, Свердловской и Тюменской областей общей площадью более 23 тыс. км² (рис. 1) [14].

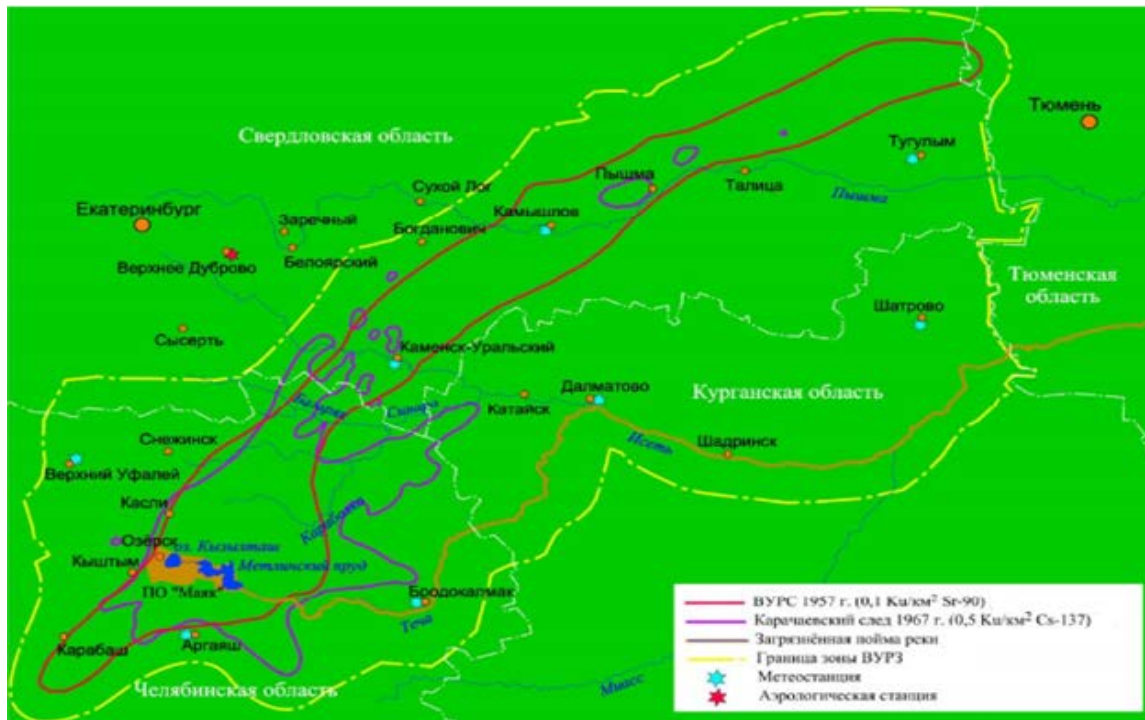


Рис. 1. Зона Восточно-Уральского радиоактивного загрязнения

Формирование ВУРС в основном закончено после осаждения радионуклидов из проходящего радиоактивного облака. В пределах плотности загрязнения местности по ^{90}Sr свыше $3,7 \text{ кБк м}^{-2}$ это произошло через 11 ч на расстоянии 300 км от места взрыва. Все это время ветер сохранял направление на северо-северо-восток, а потому след оказался сильно вытянутым. Поскольку при его образовании атмосферные осадки не выпадали, а до того, как установился постоянный снежный покров, случались периоды сухой погоды с сильными ветрами, то в течение первых 1–1,5 месяцев в периоды сухой погоды и сильных ветров наблюдалось перераспределение радионуклидов на местности под действием ветрового подъёма. Это привело к дополнительному загрязнению участков, прилегающих к головной части следа, где заражение

было максимальным. Поэтому след здесь шире и размыт в восточном направлении. Пространственное распределение радиоактивных загрязнений характеризуется явно выраженной осью следа, сравнительно монотонным убыванием загрязнения вдоль этой оси и быстрым спадом плотности загрязнения местности в поперечных к оси следа направлениях.

В качестве «реперного» радионуклида, по содержанию которого оценивали радиоактивное загрязнение, был принят ^{90}Sr : с одной стороны, его период полураспада достаточно велик, с другой – он содержался в заметном количестве и играл наиболее важную роль в формировании доз долговременного облучения живых организмов. Поэтому в дальнейшем плотность загрязнения указана именно по ^{90}Sr (рис. 2).

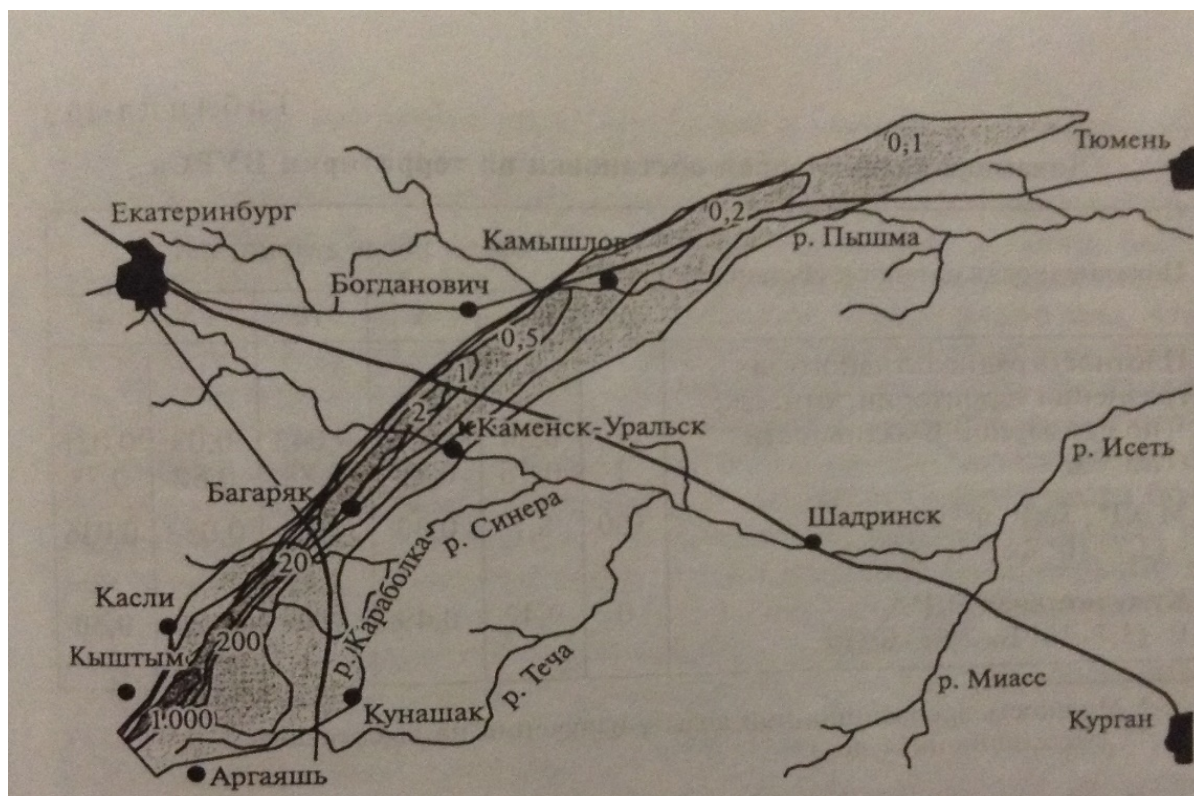


Рис. 2. Карта ВУРС. Цифрами обозначены изолинии плотностей загрязнения территории стронцием-90 в единицах $3,7 \cdot 10^4 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-2}$

Территория лесного и лесостепного Зауралья с большим разнообразием природных условий площадью 23 тыс. км, на которой в 1957 г. проживало 273 тыс. чел., оказалась загрязненной с плотностью загрязнения более $3,7 \text{ кБк} \cdot \text{м}^{-2}$. На большей ее части отсутствуют резко выраженные формы рельефа. Однако ландшафтная неоднородность – наличие большого количества болот, озер, различного рода понижений и впадин, лесных массивов – усложняет структуру земной поверхности и, соответственно, оказывало значительное влияние на неравномерность радиоактивных выпадений. На территории, загрязненной свыше $74 \text{ кБк} \cdot \text{м}^{-2}$, оказалось 10 тыс. чел. и свыше $3700 \text{ кБк} \cdot \text{м}^{-2}$ – 2100 чел.

В зоне ВУРСа прекратили существование 12 колхозов, из пользования которых было выведено более 28 тыс. га сельскохозяйственных угодий, в том числе: пашни – около 19 тыс. га, пастбищ – почти 3 тыс. га, сенокосов – более 5 тыс. га.

Из внутренней части следа длиной примерно 105 км при ширине около 8–9 км, имеющей площадь около 600 км^2 и загрязненной

свыше $74 \text{ кБк} \cdot \text{м}^{-2}$, было эвакуировано население. Из наиболее загрязненных территорий это было сделано в пределах 10 дней, а из других мест – в течение 18 месяцев. В наиболее загрязненной головной части ВУРСа 29 апреля 1966 г. по решению Совета Министров РСФСР был создан Восточно-Уральский государственный заповедник. Общая площадь его составила 166 км^2 [1].

В ноябре – декабре 1957 г. силами ЦЗЛ ПО «Маяк» и Института прикладной геофизики Госкомгидромета СССР было проведено уточнение реальных масштабов радиационного загрязнения на территории от предприятия до г. Каменск-Уральского Свердловской области (105 км).

В 1960 г. Институт прикладной геофизики продолжил работы, направленные на изучение пространственного распределения радионуклидов на различных участках местности. Позднее (в 1964, 1974, 1980 гг.) изучение динамики радиационной обстановки проводилось силами специально созданной в 1958 г. Опытной научно-исследовательской станции (ОНИС) ПО «Маяк». В процессе исследований использова-

лись гамма-спектрометрические, радиометрические и радиохимические методы анализа содержания радионуклидов в объектах окружающей среды и биосубстратах [9].

В табл. 1 представлена общая динамика радиационной обстановки на территории ВУРС. Загрязненность территории по смеси радионуклидов за 40 лет снизилась в результате распада почти в 50 раз. Мощность поглощен-

ной дозы внешнего β -излучения превышала на момент аварии мощность дозы γ -излучения в 4–100 раз, а сформировавшиеся за первый год после аварии дозы β -излучения превышали экспозиционную дозу γ -излучения в 10–50 раз. Поэтому облучение биогеоценозов в первые годы после аварии было в основном обусловлено внешним β -излучением.

Таблица 1. Динамика радиоактивной обстановки на территории ВУРСа

Показатель радиационной обстановки	Время после аварии, лет							
	0	1	5	10	25	40	75 (прогноз)	
Плотность радиоактивного загрязнения территории, отн. ед.: по суммарной β -активности по ^{90}Sr	1	0,34	0,057	0,043	0,03	0,021	0,88	
	1	0,96	0,89	0,78	0,52	0,38	0,16	
Мощность эквивалентной дозы γ -излучения на высоте 1 м	150	8,7	0,33	0,15	0,053	0,036	0,017	
Кумулятивная экспозиционная доза	0	0,42	0,49	0,49	0,50	0,50	0,5	
Концентрация радионуклидов, %:	трава	100	10	1	0,4	0,05	0,025	0,01
	зерно	100	20	1	0,8	0,3	0,2	0,1
	молоко	100	10	1	0,4	0,06	0,08	0,1
	вода озер	100	3	1	0,75	0,1	0,08	0,05

В последующем радиационная обстановка на территории ВУРСа значительно изменилась к лучшему – опасность облучения человека и природных объектов снизилась в основном под действием четырех факторов:

– радиоактивного распада короткоживущих радионуклидов;

– перераспределения радиоактивных веществ, в том числе за счет заглубления в почве и донных отложениях;

– изменение механизмов поступления радионуклидов в растительность (прекратилось непосредственное поверхностное загрязнение растений, снизилось загрязнение, обусловленное ветровым переносом);

– хозяйственной деятельности, в частности мероприятий по радиационной защите населения.

Концентрация радионуклидов в различных экосистемах снизилась к настоящему времени в сотни-тысячи раз, причем наиболее быстро этот процесс шел в первые пять лет. В настоящее время радиоактивное загрязнение территории в районе предприятия определяется в основном ^{90}Sr , ^{137}Cs и, в значительно меньшей степени, плутонием, что обуславливает долго-

временный характер радиационного воздействия [4].

По состоянию на 31.12.2016 г. общая площадь территории, загрязненной радионуклидами, составляет 446,8 км², включая 212,3 км² земли санитарно-защитной зоны (промышленной площадки) и 196 км² земли зоны наблюдения.

В течение 2016 г. в зоне влияния ФГУП «ПО «Маяк» не выявлено неучтенных или вновь загрязненных территорий. Проводилась реабилитация ранее загрязненных территорий на заводских площадках. Проведены работы в рамках КИРО на загрязненных участках площадки радиохимического завода.

Анализ данных системы радиационного мониторинга Росгидромета последних лет показывает, что в районе ФГУП «ПО «Маяк» радиационная обстановка остается стабильной, а радиоактивное загрязнение окружающей среды сохраняется на среднемноголетнем уровне. Накопление на почве радионуклидов, выпавших из атмосферы, за период наблюдений последних лет незначительно по сравнению с их суммарным запасом в почве и практически не сказывается на уровнях загрязнения, сложив-

шихся ранее. Уровни радиационного фона на местности, кроме наиболее загрязненных районов (отдельные участки СЗЗ, ВУРСа, поймы р. Теча), практически везде соответствуют естественному фону.

В целом радиационная обстановка в зоне влияния ПО «Маяк» стабильна. Превышения контрольных уровней по всем контролируемым территориям не отмечено. Анализ результатов мониторинга последних лет свидетельствует о стабильной радиационной и радиоэкологической обстановке в зоне влияния ФГУП «ПО «Маяк» [5].

В 2016 г. выполнена апробация системы экологического мониторинга состояния биоты специальных промышленных водоемов на примере изучения экосистемы водоема В-4. Изучены видовой состав и особенности развития фитопланктонных, зоопланктонных организмов и зообентоса в водоеме, вода которого относится к 4-му классу качества («загрязненные») экологической классификации. Оценено состояние водоема В-4 в соответствии с классификацией эффектов антропогенного воздействия на водные экосистемы, которое определено как антропогенное эвтрофирование.

Современное общебиологическое состояние р. Теча почти не отличается от сходных показателей видового разнообразия и продуктивности экосистем региона, типичных для малых рек. С другой стороны, создание санитарной зоны привело к увеличению численности и росту биологической продуктивности популяций отдельных видов животных (рыбы, водоплавающей и околоводной птицы, некоторых видов млекопитающих, в частности, ондатры и бобров) [12].

Возможность долговременного, на протяжении жизни одного поколения после аварии (70 лет), проживания населения на загрязненной территории определяется условием, чтобы потенциальная доза облучения населения за этот период не превышала предельной, специально устанавливаемой дозы облучения за этот же самый период. До недавнего времени в отечественной и зарубежной практике радиационной защиты не было опыта установления предела дозы облучения населения за такой длительный период (хотя и известны различные по численным значениям предельные дозы за аварию, длительность которой подразумевается небольшой). Первая серьезная попытка в этом направлении была предпринята Национальной

комиссией по радиационной защите (НКРЗ) и Министерством здравоохранения СССР в применении к населению, облучаемому в результате аварии на Чернобыльской АЭС. В качестве предела эквивалентной дозы суммы внешнего и внутреннего облучения населения принято значение, равное 35 бэр за жизнь.

Когда предел дозы за жизнь установлен, можно оценить максимально допустимую плотность загрязнения территории одним или несколькими долгоживущими радионуклидами, при которой возможно длительное проживание населения. С этой целью следует оценить динамику и интегральную за 70 лет дозу по всем путям внешнего и внутреннего облучения населения в расчете на единичную плотность загрязнения, применяя основные количественные показатели формирования внешнего и внутреннего облучения, определяемые с учетом радиоэкологических особенностей. В этой связи существенное значение приобретает прогноз снижения мощности дозы внешнего облучения из-за заглубления радиоактивного вещества в почву и предпринимаемых мер дезактивации, а также прогноз снижения мощности дозы внутреннего облучения в результате мер радиационной защиты, а также природных радиоэкологических факторов. Сопоставляя обоснованные для предельной дозы 35 бэр плотности загрязнения и реальные начальные значения, можно принимать решения о возможности долговременного проживания населения на загрязненной территории.

До 1995 г. радиоактивное загрязнение не было отражено на единой системной картографической основе. Имелись лишь отдельные карты, составленные, как правило, для населенных пунктов на основе использования разных методик определения радионуклидов.

Несмотря на значительный объем проведенных работ, можно считать, что до 1996 г. на территории влияния ПО «Маяк» работы носили рекогносцировочный характер. Полученные результаты съёмки не могли удовлетворять требованиям расчёта дозовых нагрузок радиоактивного воздействия на население с момента аварий до настоящего времени. Особенностью сложившейся радиационной обстановки на загрязнённых территориях является долговременность воздействия на население нескольких радионуклидов (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu и др.).

Необходимость создания комплекса карт современных и ретроспективных уровней ра-

диоактивного загрязнения Уральского региона возникла в начале 90-х гг. XX в. в связи с «Государственной программой РФ по реабилитации загрязнённых территорий Уральского региона и мерах оказания помощи пострадавшему населению на 1992–1995 гг.».

В настоящее время существует атлас Восточно-Уральского и Карачаевского радиоактивных следов, включающий прогноз до 2047 г. (рис. 3, 4).

Восточно-Уральский и Карачаевский радиоактивные следы характеризуются устойчивой динамикой снижения загрязнения окружающей среды радионуклидами, в составе которых на ВУРСе преобладает ^{90}Sr , а на Карачаевском следе – биологически малодоступные соединения ^{137}Cs и ^{90}Sr .

В почвах ВУРСа скорость вертикальной миграции ^{90}Sr составляет 0,25–0,35 см/год, основное количество радионуклида остаётся в верхней части почвенного профиля (0–20 см), уменьшаясь по глубине. Малоподвижные цезий и плутоний сохраняются преимущественно в верхнем 10-сантиметровом слое. На заливаемой пойменной почве (на р. Теча) скорость вертикальной миграции радионуклидов выше, а ^{90}Sr и ^{137}Cs обнаруживаются на глубине более 70 см.

На ВУРСе через 60 лет после аварии в почве содержание фиксированных форм ^{90}Sr

достигает 34%, ^{137}Cs и плутония – 95–98%. Биологическая доступность ^{90}Sr за прошедший период уменьшилась в 7–10 раз и, следуя прогнозу, будет изменяться в меньшую сторону.

В проточном водоёме (р. Теча) в связи с прекращением интенсивного сброса радиоактивных отходов с 1965 по 2004 гг. произошло снижение концентраций ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде в 7 раз. В донных отложениях реки отмечается миграция радионуклидов на глубину более 35 см. Уровень загрязнения слоя 0–10 см зависит от концентрации радионуклидов в водном потоке. В донных отложениях скорость заглубления ^{90}Sr составляет около 0,5 см/год.

За 60 лет доля ^{90}Sr в донных отложениях увеличилась до 95–98%, а в воде соответственно снизилась до 2–5%. Содержание ^{90}Sr в биоте определяется его концентрацией в воде.

В современный период удельная активность ^{90}Sr в воде р. Теча составляет – 10–15 Бк/л, а ^{137}Cs – 0,5–1,5 Бк/л, что делает необходимо сохранять ограничительные мероприятия. Прогноз развития радиационной ситуации на р. Теча определяется дополнительным радиационным загрязнением, обусловленным поступлением радиоактивных веществ из Теченского каскада водоёмов.



Рис. 3. Прогноз загрязнения почв стронцием-90 на 2047 г.

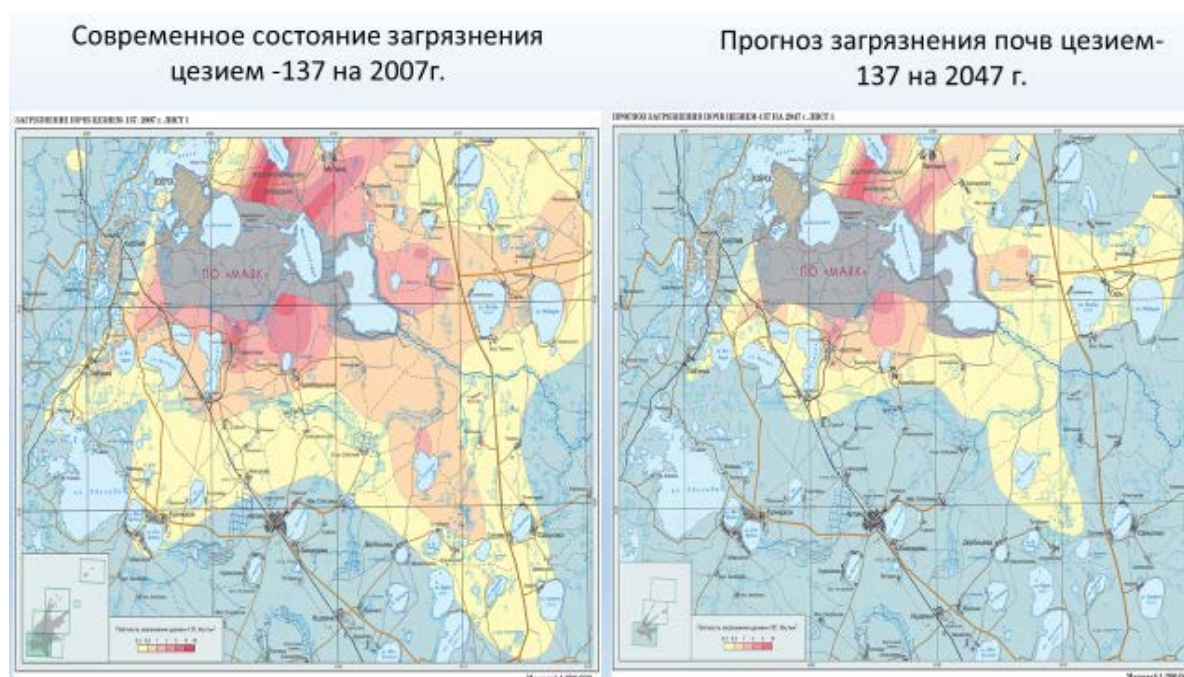


Рис. 4. Прогноз загрязнения почв цезием-137 на 2047 г.

В 2012 г. максимальные уровни загрязнения фиксировались исследователями по всей линии расположения Асановских болот и прослеживались до 100–120 м от берега. По данным «Атласа Восточно-Уральского и Карачаевского радиоактивных следов, включая прогноз до 2047 года» (Росгидромет и РАН, 2013 г.), здесь встречаются места, где высокие плотности загрязнения по ^{90}Sr достигают значений 100 Ки/км², а по ^{137}Cs – до 500 Ки/км². Наиболее часто в зоне закрытых растительностью болот проявляются плотности загрязнения по ^{90}Sr в 12–15 Ки/км². Уровни загрязнения по ^{137}Cs гораздо выше и в среднем составляют 130 Ки/км² [13].

В настоящее время выполняется комплекс мероприятий по мониторингу и поддержанию закрытых РАО в безопасном состоянии. В перспективе – проведение ликвидации акватории водоема В-17 (Старое Болото). Ориентировочный срок завершения консервации водоема В-17 – 2025 г. При консервации водоема В-17 планируется использовать технические решения, апробированные и примененные при закрытии акватории водоема В-9 (оз. Карачай) [5].

Подводя итоги 60 лет существования заповедника, можно сказать, что наравне с задачами изоляции и мониторинга очага радиоактивного загрязнения он успешно справляется с природоохранной задачей, которая заключается в сохранении природных комплексов лесостеп-

ного Зауралья, прежде всего лесных массивов, поддержании биологического разнообразия, играет заметную средообразующую роль в регионе. Однако деятельность Восточно-Уральского заповедника на современном этапе связана с серьезными проблемами. При его создании не были продуманы полностью организационные и юридические вопросы. На всем протяжении своего существования заповедник не имел юридической самостоятельности [11].

По прогнозам, загрязнение территории ^{137}Cs и ^{90}Sr будет снижаться и достигнет приемлемых концентраций уже через 15 лет, но ожидается дополнительное радиационное загрязнение на р. Теча, обусловленное поступлением радиоактивных веществ из Теченского каскада водоёмов, что подразумевает сохранение санитарно-охранного режима р. Теча и её поймы.

Особую значимость приобретает необходимость научного обеспечения принятия решений о проведении всего комплекса мероприятий, информационно-разъяснительная работа среди населения и участников ликвидации последствий радиационных аварий, необходимость совершенствования действующей законодательной и нормативной базы в области радиационной безопасности.

Библиографический список

1. Белозерский Г.Н. Радиационная экология. М.: Академия, 2008. 384 с.

2. Владимиров В.А. Катастрофы конца 20 века. М.: Геополитика, 2001. 424 с.

3. Владимиров В. А., Измалков В. И. Катастрофы и экология. М.: Контакт-культура, 2006. 379 с.

4. Романов Г.Н., Воронов А.С. Радиационная обстановка после аварии. М.: ИздАТ, 2000. 336 с.

5. Мокров Ю.Г., Иванов И.А., Бакуров А.С., Коновалов А.В., Антонова Т.А. Радиационная обстановка в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения ФГУП «ПО «Маяк» в 2016 году: отчет. Озерск: ФГУП «ПО «Маяк», 2017. – 73 с.

6. Тетерин А.Ф., Маркелов Ю.И., Александров И.П. Потенциал загрязнения атмосферы в зоне Восточно-Уральского радиоактивного загрязнения. Е.: Вестник НВГУ, 2016.

7. Ярошинская А.А. Ядерная энциклопедия. М.: Благотворительный фонд Ярошинской, 1996. 656 с.

8. Атлас ВУРСа 2013. URL: http://downloads.igce.ru/publications/Atlas/CD_VURS/7-12.html#page11b (режим доступа: свободный. Дата обращения 13.08.2017).

9. Восточно-Уральский заповедник | Красная Книга Челябинской области. URL: <http://redbook.ru/>

[article837.html](#) (режим доступа: свободный. Дата обращения 04.09.17).

10. Концепция федеральной целевой программы «Преодоление последствий радиационных аварий на период до 2015 года» I. Предварительный анализ итогов реализации. URL: <https://refdb.ru/look/1503333.html> (режим доступа: свободный. Дата обращения 26.08.2017).

11. Последствия техногенного радиационного воздействия и проблемы реабилитации Уральского региона. URL: http://chernobyl-mchs.ru/upload/program_rus/program_rus_1993-2010/Posledstviy_Ural.pdf (режим доступа: свободный. Дата обращения 24.08.2017).

12. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2011 году. URL: http://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/3b3/ezhegodnik_ro_2011.pdf (режим доступа: свободный. Дата обращения 2.09.2017).

13. «Уральский Чернобыль»: Кыштымская авария. URL: <https://lastday.club/yadernaya-avariya-na-kombinate-mayak-ili-kyishtyimskaya-tragediya> (режим доступа: свободный. Дата обращения 02.09.2017).

14. Федеральное государственное унитарное предприятие «Производственное объединение Маяк». URL: <http://www.po-mayak.ru/wps/wcm/connect/mayak/site/About/activities/ecology> (режим доступа: свободный. Дата обращения 02.09.2017).

*Поступила в редакцию
26.05.2018*