

## МОНИТОРИНГ – ОСНОВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ ПО КОНСЕРВАЦИИ ВОДОЕМА КАРАЧАЙ

Ю. Г. Мокров, А. И. Алексахин

Федеральное государственное унитарное предприятие «ПО «Маяк», Озерск

Статья поступила в редакцию 15 июня 2018 г.

*Приведена характеристика водоема Карачай (водоем В-9) – открытого поверхностного хранилища жидких радиоактивных отходов ФГУП «ПО «Маяк», как мощного источника загрязнения атмосферы и гидросферы. Рассмотрены радиационные риски длительной безопасной эксплуатации водоема В-9, как пункта размещения особых РАО. Приведено описание основных проблем и последовательности выполнения работ по консервации водоема путем закрытия его акватории полыми блоками и калиброванным скальным грунтом в условиях мощного радиационного воздействия. Показано, что разработка и обоснование технологии и темпов закрытия акватории в условиях повышенной водности потребовали создание комплекса математических фильтрационных и геомиграционных моделей, которые, в свою очередь, основывались на результатах многолетнего режимного гидрологического и гидрогеологического мониторинга. Рассмотрены основные направления проведения радиоэкологического и геодезического мониторинга в период выполнения работ по консервации водоема и в последующий период. Отмечено, что проведение радиационного и радиоэкологического мониторинга в период и после консервации водоема позволяют получить новую ценную информацию о выносе водного аэрозоля и мощности хронических выбросов радионуклидов с его акватории. Показано, что результаты комплексного мониторинга являются необходимой основой обеспечения безопасности на всех этапах эксплуатации такого уникального объекта, как водоем Карачай (В-9).*

**Ключевые слова:** водоем В-9, Карачай, хранилище жидких радиоактивных отходов (ЖРО), консервация открытого хранилища ЖРО, мониторинг радионуклидного загрязнения, обеспечение безопасности пункта хранения особых РАО.

### Краткая характеристика водоема Карачай

Водоем В-9 (Карачай) расположен на территории промышленной площадки производственного объединения «Маяк» (ФГУП «ПО «Маяк»). С 28 октября 1951 года водоем используется в качестве хранилища жидких радиоактивных отходов (ЖРО) радиохимического производства.

Первоначально Карачай представлял собой бессточное болото верхового типа, для которого были характерны значительные колебания уровня воды вплоть до полного высыхания в засушливые периоды. В августе 1951 г. до начала сбросов водная поверхность занимала по площади 26,5 га при длине 750 м и ширине 450 м; наибольшая глубина составляла 1,25 м.

Решение об использовании водоема Карачай в качестве хранилища ЖРО (в дальнейшем названным водоемом В-9) было принято в 1951 году как временная мера и для прекращения сбросов загрязненных вод в реку Теча [1–3].

С началом эксплуатации водоема в качестве хранилища ЖРО в результате сбросов уровень воды водоема и площадь водной поверхности постоянно изменялись. Максимальная площадь акватории (53 га) водоема наблюдалась в мае 1962 года, когда его береговая полоса еще не была обвалована. В период с 1971 по 1986 годы площадь акватории водоема оставалась практически неизменной (32–35 га), а интенсивные

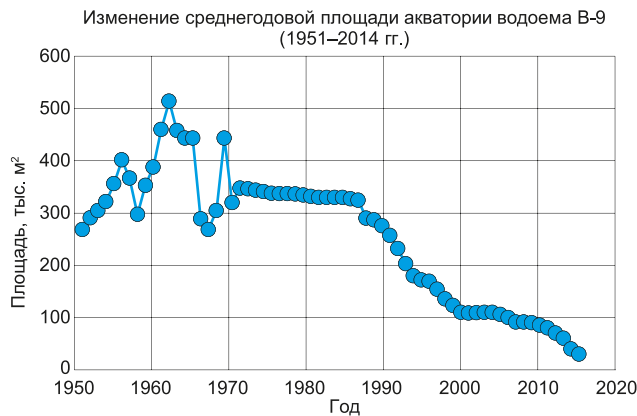


Рис. 1. Изменение площади водоема В-9 за весь период его эксплуатации

работы по закрытию акватории начались с 1987 года. На рисунке 1 показано изменение среднегодовой площади водоема В-9 за весь период его эксплуатации с учетом работ по ликвидации (засыпке) его акватории.

Суммарное поступление активности бета-излучающих радионуклидов в водоем В-9 превысило 556 млн Ки, причем свыше 500 млн Ки поступило за период 1951–1977 гг. [2]. К середине 1980-х годов суммарная активность накопленных в водоеме Карачай радионуклидов оценивалась в 120 млн Ки ( $4,4 \cdot 10^{18}$  Бк), которая распределялась так: 7% — в воде, 41% — в суглинках ложа водоема, 52% — в рыхлых илистых отложениях [1–3].

Основные радиационные риски эксплуатации водоема в режиме открытого водоема-хранилища ЖРО были обусловлены: (1) фильтрацией ЖРО под ложе водоема и последующей миграцией загрязненных подземных вод с возможностью последующей разгрузки в открытую гидрографическую систему и (2) вероятностью ветрового переноса аэрозолей, содержащих радиоактивные вещества, с акватории водоема и береговой зоны при аномальных метеорологических условиях (сильный ветер, смерч).

Решение о ликвидации акватории водоема «Карачай» было принято в 1967 году (приказ Минсредмаша № 0256 от 16.05.1967) [2].

В 2014 году по результатам проведенной первичной регистрации РАО водоем получил статус пункта размещения особых РАО.

### Водоем Карачай как источник загрязнения атмосферы

В течение всего периода эксплуатации водоема его акватория являлась поверхностным источником поступления радионуклидов в атмосферу с аэрозольными частицами.

В апреле 1967 года на ФГУП «ПО «Маяк» произошла природно-техногенная аварийная ситуация, связанная с ветровым выносом радионуклидов

с обмелевших и пересохших участков водоема Карачай [4]. Предпосылки возникновения этой ситуации были обусловлены наложением аномальных природных условий: малоснежная зима 1966–1967 гг. (в период с декабря по март выпало всего 36 мм осадков, что составляло 10% от средней многолетней нормы) и ранняя весна 1967 года (уже к 20 марта снеговой покров отсутствовал и верхний слой почвы был сухим). В апреле 1967 года произошло резкое (на 30 см) снижение уровня воды в водоеме, что привело к оголению высокоактивных донных отложений (илов) на площади около 20 тыс. м<sup>2</sup> в северной части акватории у оголовка сбросной линии. Дальнейшее повышение температуры способствовало высыханию оголившихся илов и возникновению условий повышенного пылеобразования. В течение апреля наблюдались высокие среднесуточные скорости ветра со значительным преобладанием повторяемости в секторах от юго-юго-запад до запад-северо-запад. Сложившиеся метеоусловия способствовали интенсивному ветровому подъему и выносу высокоактивных илов с оголившихся участков акватории и, как следствие, повышенному загрязнению прилегающей территории.

С целью обводнения оголившихся участков водоема и прекращения ветрового уноса была проведена подпитка водоема чистой водой (уже в мае уровень воды в водоеме был поднят на 0,4 м). До конца 1967 года была выполнена засыпка мелководных и береговых участков чистым грунтом [1, 2]. Площадь загрязнения почвы в границах 0,1 мкКи/м<sup>2</sup> по <sup>90</sup>Sr составила приблизительно 1800 км<sup>2</sup> с общей активностью около 600 Ки [1–5]. В целом за 1967 год дополнительная суммарная доза внешнего и внутреннего облучения для населения в наиболее загрязненном районе (пос. ОНИС, деревня Сарыкульмяк) составила величину в пределах 80–100 мбэр/год (0,8–1,0 мЗв/год), что было существенно (более 5 раз) ниже установленно-го в тот период времени для населения предела дозы 500 мбэр/год (5,0 мЗв/год) [5].

С позиции сегодняшнего дня радиационную аварию 1967 года следует квалифицировать как малозначущую, и по международной 7-балльной шкале ядерных событий ИАЕС (INES) этому событию следует присвоить первый уровень («Аномальная ситуация»). Авария 1967 года не привела к серьезным радиационным последствиям для населения и окружающей среды, но показала потенциальную опасность повторения подобных ситуаций при аномальных метеорологических условиях (сильный ветер, смерч).

После этого инцидента были приняты меры по предотвращению повторения подобных случаев. В течение 1967–1971 гг. были проведены работы по засыпке оголенных ранее затопляемых участков, засыпке мелководий, рекультивации территорий вокруг водоема. Откосы по

всей длине береговой кромки были отсыпаны и укреплены камнем. В результате проведенных работ уровень кромки берегового откоса был повышен по всему периметру водоема. Был принят регламент по эксплуатации водоема Карачай с жестким контролем уровня воды. Во избежание снижения уровня ниже минимальной разрешенной отметки производилась подпитка водоема водой.

### Водоем Карачай как источник загрязнения гидросферы

Водоем располагался в естественном понижении рельефа и эксплуатировался в бессточном режиме с естественной фильтрацией вследствие хорошей связи с подземными водами. При этом суглинки ложа водоема выполняли роль природного защитного экрана, который задерживает значительное количество радионуклидов. Всего за время эксплуатации водоема из него в подземные воды поступило около 5,0–6,6 млн м<sup>3</sup> техногенно загрязненных вод [1, 3, 6].

В течение всего периода использования водоема Карачай в качестве хранилища среднеактивных отходов производился и развивался мониторинг состояния подземной гидросферы в этом районе [1, 7, 8]. Первоначально миграция загрязненных вод, фильтрующихся из Карачая, происходила за счет опускания плотных соляных растворов вниз под действием силы тяжести до горизонта условного водоупора — слоя наименее трещиноватых и наименее проницаемых коренных пород (порфиринов), который расположен на глубине порядка 80–100 м. Затем более плотные, по сравнению с чистыми подземными водами, загрязненные растворы из Карачая как бы растекались по водоупорному горизонту. Дальнейшая миграция компонентов-загрязнителей происходила в потоке подземных вод и определялась свойствами этого потока, а также процессами дисперсии, разбавления и радиоактивного распада радионуклидов [7]. Ореол загрязнения подземных вод вокруг водоема Карачай в контуре предельно допустимых значений (ПДК, УВ) по наиболее подвижным компонентам (нитраты, стронций-90, уран) занимает площадь 14–19 км<sup>2</sup>.

Как показывают результаты гидрогеохимических наблюдений, выполненных в последние годы в районе В-9, ореол загрязнения подземных вод характеризуется достаточно стабильным положением. Данные мониторинга и прогнозного моделирования не предполагают дальнейшего развития ореола и расширения его границ.

Прогноз развития ситуации, связанной с распространением радионуклидного загрязнения в подземных водах района В-9, выполнен на базе геомиграционной математической модели GEON-3DM, специально созданной на основе результатов многолетних наблюдений и

обширных научных исследований. Проведенные на модели расчеты показывают, что в течение ближайших 300 лет (а тем более в отдаленном периоде) загрязненные подземные воды района Карачая никогда не окажут сколько-нибудь заметного, а тем более опасного для окружающей среды и человека воздействия на открытую гидрографическую сеть региона [1]. Модельные расчеты и результаты мониторинга свидетельствуют о том, что пиковые значения разгрузки вод ореола загрязнения в поверхностные воды уже прошли. Теперь эти параметры будут только снижаться, а ореол загрязнения подземных вод радионуклидами от водоема Карачай постепенно деградирует.

Результаты текущего мониторинга и моделирования свидетельствуют о том, что даже значительный по площади ореол загрязнения подземных вод не создает и никогда не создаст значимого поступления радионуклидов в открытую гидрографическую сеть.

### Ликвидация акватории водоема В-9

В 1950–1960-х годах мощность экспозиционной дозы на берегу водоема достигала 0,005–0,02 Р/с, что исключало проведение каких-либо работ без специальных средств защиты [8].

Обработка технологии закрытия акватории хранилища была начата в 1969 году. В ходе опытных работ наблюдалось вытеснение материалом засыпки техногенных илов, вплоть до выхода их над поверхностью воды. Обнажение донных отложений, фактически являющихся высокоактивными отходами, создавало предаварийную ситуацию, подобную той, что сложилась перед ветровым разносом радиоактивных аэрозолей в 1967 г. Кроме того, при обнажении техногенных илов в районе производства работ резко ухудшалась радиационная обстановка. Таким образом, по результатам первых опытных работ по закладке водоема В-9 выяснилось, что массив закладки должен обладать таким активным поровым пространством, которое бы полностью включало в себя техногенные илы [1–3].

С 1973 г. для закрытия водоема В-9 начали использовать скальный грунт. Результаты опытных работ показали, что использование некалиброванного скального грунта позволяет создать массив с эффективной пористостью 0,2, а калиброванного (с величиной обломков  $\geq 0,3$  м<sup>3</sup>) — с эффективной пористостью 0,3. Однако использование даже калиброванного камня на участках с большой толщиной слоя техногенных илов приводит к вытеснению их над поверхностью воды. Поэтому основным недостатком использования скального грунта как материала закладки является недостаточная эффективная пористость создаваемого насыпного массива.

После рассмотрения множества разнообразных материалов и методов сокращения

акватории водоема В-9 в итоге наиболее целесообразным было признано использование блоков ПБ-1, специально спроектированных и изготовленных на ПО «Маяк». Блок ПБ-1 представляет собой полую железобетонную конструкцию кубической формы с толщиной стенок 0,1 м и открытой нижней гранью. Эффективная пористость массива, сооружаемого только из блоков ПБ-1, составляет 0,605.

В период 1983–1985 гг. была разработана и опробована в опытно-промышленном масштабе технология закрытия водоема В-9 с использованием блоков ПБ-1. Она заключалась в установке бетонных блоков в акваторию с берега и «пригрузки» их скальным грунтом. На участках акватории водоема В-9 с повышенной толщиной слоя техногенных илов (> 1 м) работы по закрытию велись посредством отсечения участков хранилища короткими дамбами с последующим их закрытием. В случае подъема илов к поверхности воды окончательное закрытие участка производилось в зимний период, после установления ледового покрова.

Для установки блоков в водоем В-9 использовалась инженерная машина разграждения, предназначенная для разборки завалов и создания проходов в очагах ядерного поражения, которая позволяла устанавливать конструкционные элементы с берега в воду. Закрытие северовосточного участка акватории было выполнено уже в 1985–1987 гг. и подтвердило правильность принятых технических решений. К началу 1990-х (завершение работ по проекту ликвидации I очереди) было достигнуто значительное улучшение радиационной обстановки в районе водоема: было локализовано 60% подвижных донных отложений по объему и 70% всей накопленной активности, а площадь водоема была уменьшена на треть [1, 3, 5].

В период 1950–1980 гг. для района расположения «ПО «Маяк» было характерно превышение среднего годового уровня испарения над осадками на 100 мм/год, а в 1980–2000 гг. ситуация изменилась на противоположную: превышение

среднегодовых осадков над испарением составило около 100 мм/год. Такое изменение метеосредств привело к росту уровней подземных вод и водоема. Постепенный рост уровней вынуждал периодически пересматривать регламентные эксплуатационные отметки уровня водоема. Подъем уровня водоема В-9 в отдельные особенно многоводные годы вынуждал приостанавливать работы по засыпке акватории. В период 2000–2004 гг. из-за продолжающегося подъема уровня воды в водоеме работы по засыпке акватории по проектным решениям II очереди ликвидации водоема также были приостановлены. Возобновление работ началось только в 2005 году после разработки проектных решений, направленных на обеспечение закрытия водоема в условиях высокой водности.

Для обоснования проекта консервации III очереди, учитывающего изменение метеорологических условий, была разработана локальная геофильтрационная модель района водоема В-9, которая была использована для оценки изменения водного баланса водоема и обоснования возможности и графика выполнения работ по консервации В-9 в условиях повышенной водности [1, 9–11]. С использованием этой модели была определена эффективность каждого предполагаемого технического мероприятия по решению задачи стабилизации и снижения уровня водоема. Из результатов выполненных работ следует, что основными техническими мероприятиями, которые позволяют стабилизировать уровень воды в водоеме В-9 и управлять режимом ликвидации водоема с учетом существующего сброса ЖРО, являются: гидроизоляция закрытой части, водоотводной нагорный канал, водоотводная канава, планировка рельефа. С учетом полученных результатов были разработаны соответствующие проектные решения. Работы по закрытию акватории водоема Карачай, выполненные в период 2004–2007 гг., позволили сократить площадь акватории с 11,6 га до 7,8 га. В среднем темпы закрытия соответствовали расчетным – до 2,2 га/год.

В рамках реализации мероприятий Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» (ФЦП «ЯРБ») ФГУП «ПО «Маяк» завершило практические работы по ликвидации акватории водоема 26 ноября 2015 года.

### Обеспечение безопасности в процессе и после закрытия акватории

После полного закрытия в ноябре 2015 года акватории водоема В-9 этот объект приобрел статус пункта хранения особых РАО, что требует постоянного мониторинга его состояния, а также оценки и прогноза его влияния на загрязнение атмосферы, подземных и поверхностных вод.

Проведение режимных наблюдений за изменением гидродинамической и гидрохимической



Рис. 2. Сокращение площади акватории водоема В-9 во времени в процессе ее ликвидации



обстановки в подземных и поверхностных водах является обязательным методом наблюдения за текущим состоянием подземных вод и поверхностных водотоков в пределах контролируемой зоны «ПО «Маяк». Результаты мониторинга подземных и поверхностных вод являются основой для оценки, анализа и прогноза динамики экологического состояния района расположения промышленных водоемов «ПО «Маяк» [10].

### Мониторинг загрязнения атмосферы

На протяжении всего периода консервации водоема наблюдалась отчетливая тенденция улучшения радиационной обстановки и снижение объемной активности атмосферы в районе водоема.

Например, по данным службы радиационного контроля ФГУП «ПО «Маяк», плотность выпадений суммы бета-излучающих радионуклидов на территории радиохимического завода в период выполнения работ по ликвидации акватории водоема Карачай (1991–2016 гг.) сократилась более чем в 20 раз (рис. 3). По данным Росгидромета, среднегодовая объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  в воздухе пос. Новогорный

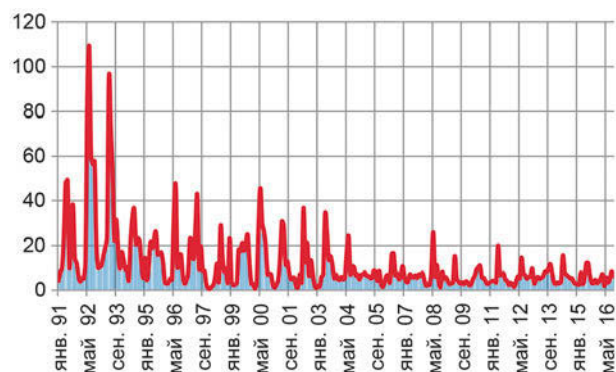


Рис. 3. Изменение плотности выпадений (Бк/м<sup>2</sup>·мес) бета-излучающих радионуклидов на территории радиохимического завода в период работ по ликвидации акватории водоема Карачай (1991–2016 гг.)

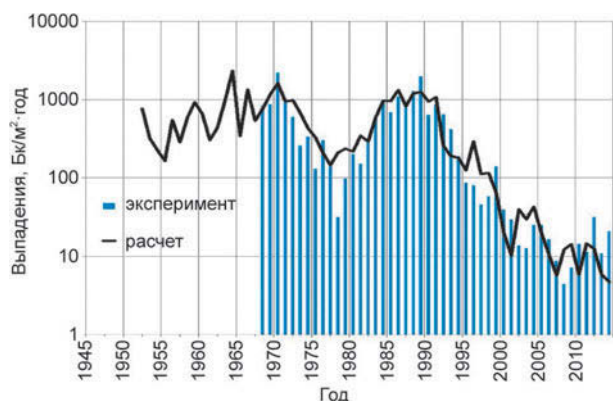


Рис. 4. Сравнение экспериментальных и расчетных выпадений  $^{137}\text{Cs}$  в пос. Новогорный (1968–2015 гг.)

снизилась почти в 20 раз, с 53,1 (2003 г.) до 2,8 мкБк/м<sup>3</sup> (2016 г.) [12].

В работах [13–16] было показано, что основным источником загрязнения атмосферы  $^{137}\text{Cs}$  в районе расположения пос. Новогорный является процесс ветрового уноса водного аэрозоля с акватории водоема В-9 (Карачай). Известно, что основным механизмом образования водного аэрозоля над акваторией водоемов является процесс «схлопывания» газовых пузырьков на водной поверхности [14].

Показано [13] (рис. 4), что мощность выброса (уноса)  $^{137}\text{Cs}$  с акватории водоема В-9 прямо пропорциональна удельной активности воды водоема и его площади. Проведена реконструкция выпадения  $^{137}\text{Cs}$  в пос. Новогорный за весь период существования водоема Карачай (начиная с 1952 года) [13].

Всего за период с 1952 по 2015 годы суммарное выпадение  $^{137}\text{Cs}$  в районе пос. Новогорный (без учета радиоактивного распада) в результате уноса водного аэрозоля с акватории водоема В-9 оценивается значением 30,0 кБк/м<sup>2</sup> (0,8 Ки/км<sup>2</sup>).

Выполнены численные оценки радиационного воздействия на население от выбросов  $^{137}\text{Cs}$  с акватории водоема Карачай за весь период его существования в качестве пункта размещения ЖРО. С учетом всех путей радиационного воздействия для критической группы населения поселка Новогорный суммарное значение эффективной дозы за 63 года (с 1952 по 2014 г.), обусловленной «выбросами» (ветровым выносом с акватории водоема В-9)  $^{137}\text{Cs}$  при всех принятых консервативных (сильно завышенных) предположениях оценивается 2,4 мЗв, что составляет менее 4% от допустимого значения. Показано, что основной вклад (более 95%) в дозу облучения вносит поступление  $^{137}\text{Cs}$  с продуктами питания [13].

В работе [16] на основе анализа результатов контроля содержания  $^{239,240}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в атмосфере поселка Новогорный за период 2002–2016 годы было показано:

1. В рассматриваемый период времени измененные значения объемной активности  $^{238}\text{Pu}$  и  $^{239,240}\text{Pu}$  в воздухе пос. Новогорный были на 3-4 порядка, а для  $^{137}\text{Cs}$  на 6 порядков величины меньше соответствующей допустимой объемной активности для населения.

2. Основным источником загрязнения атмосферы  $^{238}\text{Pu}$  в районе предприятия являлся вынос водного аэрозоля с акватории водоема Карачай, а вклад атмосферных выбросов радиохимического завода не превышал нескольких процентов.

3. Загрязнение воздуха  $^{239,240}\text{Pu}$  в 2002–2015 годах, обусловленное уносом водного аэрозоля с акватории водоема Карачай, было сопоставимо с загрязнением, обусловленным вторичным ветровым подъемом.

4. После полного закрытия акватории водоема Карачай (ноябрь 2015 г.) основным источником загрязнения атмосферы плутонием стал процесс вторичного ветрового подъема с ранее загрязненных территорий (1950-е годы).

5. С привлечением дополнительной информации об объемной активности  $^{137}\text{Cs}$  в воздухе пос. Новогорный и данных об удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{239,240}\text{Pu}$  в воде водоема Карачай были оценены значения коэффициента фракционирования плутония в водном аэрозоле по отношению к  $^{137}\text{Cs}$  —  $F(\text{Pu}/\text{Cs})$ . Среднее значение коэффициента фракционирования оценено на уровне 27,4 при диапазоне изменения от 12,5 до 50,3.

В работе [17] с использованием двух независимых наборов экспериментальных данных: плотности загрязнения почвы в районе расположения водоема и изменения удельной активности воды за весь период наблюдений, оценены и верифицированы значения интегрального уноса активности с водным аэрозолем за весь период эксплуатации водоема. Оценены значения интегрального уноса активности с водным аэрозолем за весь период эксплуатации водоема Карачай: для  $^{137}\text{Cs}$  —  $5,8 \cdot 10^{15}$  Бк (1570 Ки), для  $^{90}\text{Sr}$  —  $1,2 \cdot 10^{15}$  Бк (320 Ки) и плутония — до  $3,1 \cdot 10^{11}$  Бк (8,4 Ки). Причем около 80–95% активности этих радионуклидов поступило в атмосферу до 1991 года.

### Мониторинг состояния системы В-9 после ликвидации акватории

В рамках мероприятий ФЦП ЯРБ-2 выполняется необходимый комплекс работ по обеспечению безопасного состояния водоема В-9 (Карачай). Основу составляют работы по мониторингу состояния В-9 и окружающей среды. Наблюдаются параметры загрязнения радионуклидами атмосферного воздуха, подземных вод и поровой воды массива засыпки, почвы, растительности, снега; отслеживаются уровни подземных вод и поровой воды массива засыпки. Результаты мониторинга свидетельствуют о достаточно безопасном состоянии системы: критических подъемов уровня воды в массиве засыпки не наблюдается, уровень воды находится в нескольких метрах от поверхности массива.

Начиная с 2016 года выполняется геодезический мониторинг поверхности массива засыпки: работы проводятся с закладкой центров триангуляции и полигонометрии (пунктов наблюдения за деформациями) на массиве. Всего оборудовано 1090 пунктов контроля с последующим использованием установленных пунктов для определения координат и высот один раз в квартал. Начиная с 2017 года результаты геодезического мониторинга стали основой для построения моделей поверхности массива на базе геоинформационных систем (рис. 5).

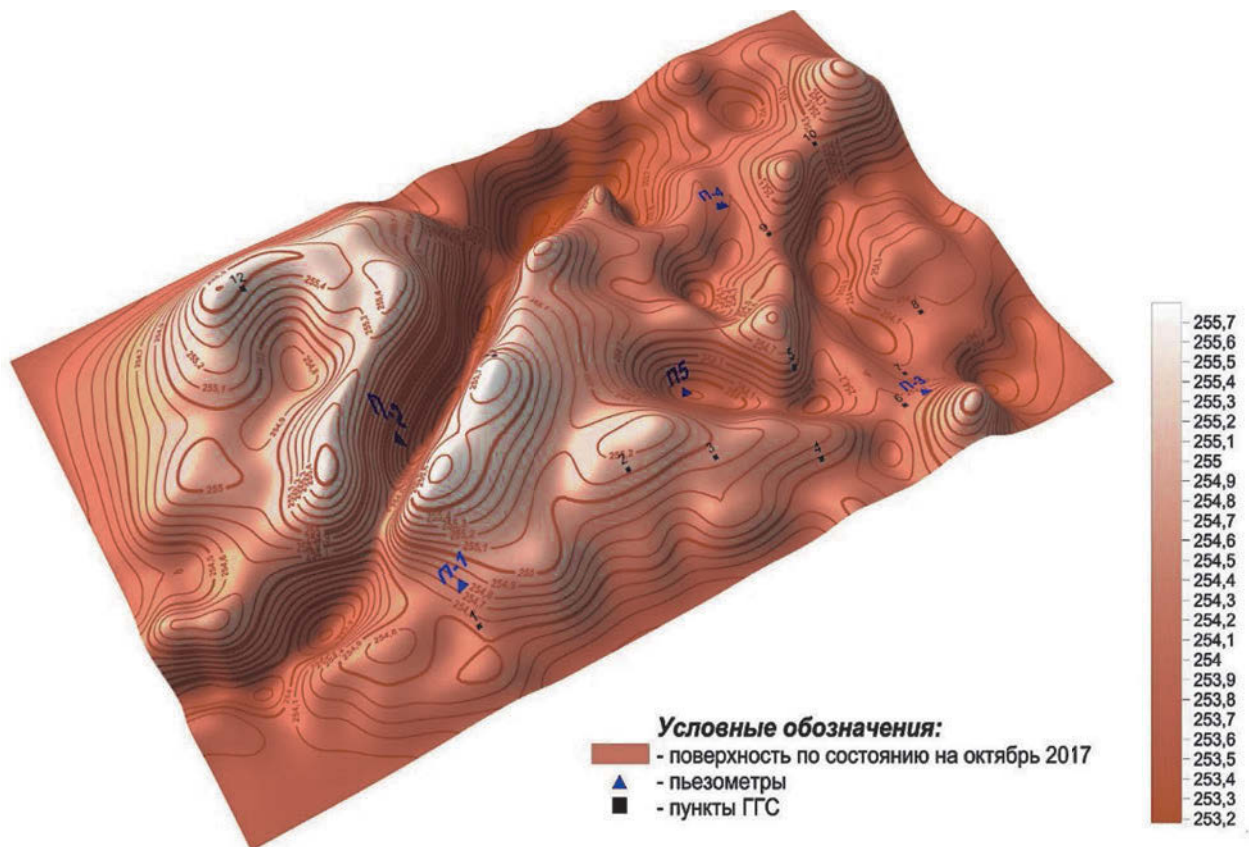


Рис. 5. Трехмерное представление рельефа массива засыпки водоема В-9 по состоянию на октябрь 2017 г.

Основные радиационные параметры (плотности потока альфа- и бета-частиц, мощность эквивалентной дозы) ежемесячно измеряются в 37 пунктах контроля на поверхности массива за сыпки. Наибольшие уровни МЭД наблюдаются на участке вблизи оголовка сбросной линии, где завершались работы по закрытию акватории водоема и где были сконцентрированы наибольшие мощности донных отложений. Измеренные здесь значения МЭД потребовали проведения дополнительной отсыпки наиболее радиационно опасных участков для снижения дозового воздействия на персонал и предотвращения загрязнения атмосферного воздуха.

В настоящее время результаты всех видов мониторинга свидетельствуют о безопасном состоянии всех систем бывшего открытого водоема-хранилища ЖРО.

### Выводы:

1. Ликвидация водоема Карачай, как неорганизованного источника выброса радионуклидов в атмосферу, позволяет приступить к радиационной реабилитации территории, прилегающей к водоему.

2. Начиная с 2016 года ФГУП «ПО «Маяк» проводит планировку рельефа на закрытой акватории водоема Карачай и выполнение мероприятий по переводу водоема в пункт консервации особых радиоактивных отходов.

3. Проведение мониторинга загрязнения атмосферы, подземных и поверхностных вод является основным методом наблюдения за текущим состоянием и обеспечением безопасности водоема Карачай. Результаты мониторинга необходимы для оценки, анализа и прогноза изменения экологического состояния объектов окружающей среды в районе расположения ФГУП «ПО «Маяк».

### Литература

1. Водоем-9 — хранилище жидких радиоактивных отходов и воздействие его на геологическую среду / Под ред. Е. Г. Дрожко, Б. Г. Самсонова. — М.: Росатом, 2007. — 250 с.
2. Алексахин А. И. История эксплуатации водоема Карачай. Обзорный очерк по архивным и отчетным материалам ПО «Маяк» // Вопросы радиационной безопасности. 2005. № 4. С. 42—50.
3. Алексахин А. И., Дрожко Е. Г. Карачай. Челябинская область: энциклопедия. Т. 3: К-Л. Челябинск: изд-во «Каменный пояс», 2004. — С. 95—96.
4. Корсаков Ю. Д., Федоров Е. А., Романов Г. Н. и др. Оценка радиационной обстановки на территории, загрязненной в результате ветрового переноса радиоактивных аэрозолей в районе предприятия в 1967 году. Реферат // Вопросы радиационной безопасности. 1996. № 4. С. 50—59.
5. Глаголенко Ю. В., Дрожко Е. Г., Мокров Ю. Г. и др. Современное состояние и обеспечение вывода

из эксплуатации водоемов-хранилищ жидких среднеактивных отходов — озера Карачай и хранилища Старое Болото // Вопросы радиационной безопасности. 2003. № 1. С. 14—19.

6. Иванов И. А. Миграция урана и трансураниевых элементов в подземных водах района размещения открытого хранилища жидких радиоактивных отходов оз. Карачай (ПО «Маяк», Челябинская область); 25.00.36 — Геоэкология: автореф. дис. ... к. т. н. — Озерск, 2004. — 28 с.

7. Дрожко Е. Г., Иванов И. А., Алексахин А. И., Самсонова Л. М., Глаголев А. В. Современное состояние подземной гидросферы в районе ПО «Маяк» // Вопросы радиационной безопасности. 1996. № 1. С. 11—19.

8. Ильин Д. И. Миграция радиоактивных веществ из открытых водоемов. Глава 4. Миграция радиоактивных веществ из оз. Карачай: Дис. ... д. т. н., 1956 г. // Вопросы радиационной безопасности. 2005. № 3. С. 48—66.

9. Алексахин А. И. Особенности гидрологического режима и техногенных илов открытого хранилища жидких радиоактивных отходов «ПО «Маяк» водоема В-9 (Карачай); 25.00.36 — Геоэкология: автореф. дис. ... к. т. н. Озерск, 2007. — 28 с.

10. Глинский М. Л., Глаголева М. Б., Дрожко Е. Г., Иванов И. А. Озеро Карачай: объектный мониторинг при выводе из эксплуатации // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. 2009. № 4. С. 96—99.

11. Баторшин Г. Ш., Мокров Ю. Г. Концепция вывода из эксплуатации поверхностных водоемов-хранилищ ЖРО ПО «Маяк» // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. 2013. — № 3—4. С. 88—94.

12. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств: ежегодник за 2003, ..., 2016 гг. / Росгидромет, НПО «Тайфун»; под ред. С. М. Вакуловского и др. — М., СП-б., Обнинск и др., 2004—2017. URL: <http://egasmro.ru/ru/data>.

13. Мокров К. Ю., Мокров Ю. Г. Анализ атмосферных выпадений цезия-137 в зоне наблюдения ФГУП «ПО «Маяк» на примере поселка Новогорный // Вопросы радиационной безопасности. 2015. — № 2. С. 16—27.

14. Мокров К. Ю., Мокров Ю. Г. Изучение параметров источника генерации водного аэрозоля с акватории водоема Карачай // Вопросы радиационной безопасности. 2016. — № 1. С. 20—29.

15. Мокров К. Ю., Мокров Ю. Г. Изучение загрязнения атмосферы вблизи водоема Карачай в результате ветрового уноса водного аэрозоля с его поверхности // Вопросы радиационной безопасности. 2017. — № 1. С. 67—79.

16. Мокров Ю. Г., Мокров К. Ю., Ишунина М. А., Ефимов А. В., Романов С. А. Оценка вклада различных источников загрязнения атмосферы плутонием в районе размещения ФГУП «ПО «Маяк» в период 2002—2016 гг. // Вопросы радиационной безопасности. 2017. — № 2. С. 35—46.



17. Мокров К. Ю., Мокров Ю. Г. Оценка интегрального выноса долгоживущих радионуклидов с водным аэрозодем водоема Карачай на основе анализа данных о загрязнении почвы в районе его расположения // Вопросы радиационной безопасности. 2018. — № 1. С. 19—35.

---

### Информация об авторах

Мокров Юрий Геннадьевич, доктор технических наук, советник генерального директора по науке и экологии, ФГУП «ПО «Маяк», (456780, Челябинская обл., г. Озерск, ул. Ермолаева, 18), e-mail: mokrov@po-mayak.ru.

Алексахин Алексей Иванович, кандидат технических наук, начальник лаборатории экологической безопасности и охраны окружающей среды ЦЗЛ ФГУП «ПО «Маяк», (456780, Челябинская обл., г. Озерск, ул. Ермолаева, 18), e-mail: rem@po-mayak.ru.

### Библиографическое описание данной статьи

Мокров Ю. Г., Алексахин А. И. Мониторинг — основа обеспечения безопасности при выполнении работ по консервации водоема Карачай // Радиоактивные отходы. — 2018. — № 3 (4). — С. 60—68.

---

## MONITORING AS THE BASIS FOR ENSURING SAFETY OF KARACHAY LAKE CLOSURE IMPLEMENTATION

Mokrov Yu. G., Alexakhin A. I.

FSUE Mayak, Ozyorsk, Chelyabinsk Region, Russia

Article received 15 June 2018

*Karachay Lake (Reservoir V-9), which was an open surface storage reservoir for liquid radioactive wastes produced by the FSUE Mayak PA, was characterized in the paper as a significant source of contamination for the atmosphere and for the underground hydrosphere. Radiation risks were considered of long-term safe operation of Reservoir V-9 as a site of special RW disposal. Fundamental problems were described as well as the sequence of work activities on the reservoir closure by filling in its water area with hollow blocks and rocky ground in conditions of extremely high level of radiation exposure. Development and justification of the technological process and rate of the water area closure under circumstances of increased water level required to work out a comprehensive set of mathematical models for filtration and geomigration on the basis of long-term hydrological and hydrogeological monitoring. Principal directions of the radioecological monitoring were considered in the period of implementation of the reservoir water area closure activities and afterwards. Radiation and radioecological monitoring data obtained in the period of the open water area operation and after its closure help obtain valuable information on the formation of water aerosol above the water surface and on the intensity of radionuclide carry-over from the water area. It was demonstrated that the results of comprehensive monitoring are essential to ensure safety in all stages of operation of such a unique object as Karachay Lake (Reservoir V-9).*

**Key words:** reservoir V-9, Karachay, storage of liquid radioactive waste (LRW), closure of surface LRW storage site, monitoring of radionuclide contamination, ensuring safety for special radioactive waste storage facility site.

### References

1. Reservoir-9 — Storage of Liquid Radioactive Wastes and Its Impact on the Geological Environment. / Edited by Drozhko Y. G., Samsonov B. G. Moscow: Rosatom, 2007. 250 p. (In Russian).
2. Alexakhin A. I. Karachay Lake Operation History. Summary Study of Mayak PA Archive and Report Materials. *Radiation Safety Problems*, 2005, no. 4, pp. 42—50. (In Russian).



3. Alexakhin A. I., Drozhko Y. G., Karachay. *Che-lyabinsk Region: Encyclopedia*. Vol. 3: K-L. Kamen-nyi Poyas Publishing House, Chelyabinsk, 2004. pp. 95–96. (In Russian).
4. Korsakov Y. D., Fyodorov Y. A., Romanov G. N. et al. Evaluation of Radiation Environment in the Area Contaminated as a Result of Wind Carry-Over of Radioactive Aerosols in the Vicinity of the Enterprise in 1967. Abstract. *Radiation Safety Problems*, 1996, no. 4, pp. 50–59. (In Russian).
5. Glagolenko Y. V., Drozhko Y. G., Mokrov Y. G., Stukalov P. M., Ivanov I. A., Alexakhin A. I. Current Status and Support of Decommissioning of Liquid Intermediate Level Waste Storage Reservoirs – Karachay Lake and Staroye Boloto Storage Reservoir. *Radiation Safety Problems*, 2003, no. 1, pp. 14–19. (In Russian).
6. Ivanov I. A. *Migration of Uranium and Transuranium Elements in Underground Waters in the Vicinity of Karachay Lake which is a Surface LRW Storage Reservoir* (Mayak PA, Chelyabinsk Region). 25.00.36 – Geoecologiya, Author's Abstract of the Ph.D. Thesis in Engineering Science. Ozyorsk, 2004, 28 p. (In Russian).
7. Drozhko Y. G., Ivanov I. A., Alexakhin A. I., Samsonova L. M., Glagolev A. V. Current Status of Underground Hydrosphere in the Vicinity of Mayak PA. *Radiation Safety Problems*, 1996, no. 1, pp. 11–19. (In Russian).
8. Ilyin D. I. Migration of Radioactive Substances from Open Water Bodies. Thesis for the degree of Doctor of Engineering Science. Chapter 4. Migration of radioactive substances from Karachay Lake, 1956. *Radiation Safety Problems*, 2005, no. 3, pp. 48–66. (In Russian).
9. Alexakhin A. I. *Peculiarities of Hydrological Conditions and Technogenic Silts of Reservoir V-9 (Karachay) which is a Surface LRW Storage Facility*. 25.00.36 – Geoecologiya, Author's Abstract of the Ph.D. Thesis in Engineering Science. Ozyorsk, 2007, 28 p. (In Russian).
10. Glinskiy M. L., Glagoleva M. B., Drozhko Y. G., Ivanov I. A. Karachay Lake: Site Monitoring in the Course of Its Decommissioning. *Safety of Nuclear Technologies and Environmental Protection*, 2009, no. 4, pp. 96–99. (In Russian).
11. Batorshin G. Sh., Mokrov Y. G. Conception of Decommissioning of Mayak PA Surface LRW Storage Reservoirs. *Safety of Nuclear Technologies and Environmental Protection*, 2013, no. 3–4, pp. 88–94. (In Russian).
12. *Radiation Environment in the territory of Russia and in the territory of the Neighboring Countries: Yearbook of 2003 (–2016)*. Roshydromet. Tayfun R&D Production Facility. Edited by Vakulovskiy S. M. et al. Moscow, St-Petersburg, Obninsk, and others. 2004–2017. Available at: <http://egasmro.ru/ru/data>. (In Russian).
13. Mokrov K. Y., Mokrov Y. G. Analysis of Atmospheric Fallouts of Cesium-137 in the FSUE Mayak PA Observation Area by the Example of Novogorniy Settlement. *Radiation Safety Problems*, 2015, no. 2, pp. 16–27. (In Russian).
14. Mokrov K. Y., Mokrov Y. G. Study of Parameters of the Source Generating Water Aerosol from the Karachay Lake Water Area. *Radiation Safety Problems*, 2016, no. 1, pp. 20–29. (In Russian).
15. Mokrov K. Y., Mokrov Y. G. Study of Atmospheric Contamination in the Vicinity of Karachay Lake Resulted from Wind Carry-Over of Water Aerosol from the Lake Surface. *Radiation Safety Problems*, 2017, no. 1, pp. 67–79. (In Russian).
16. Mokrov Y. G., Mokrov K. Y., Ishunina M. A., Yefimov A. V., Romanov S. A. Evaluation of Contribution of Different Sources of Atmospheric Contamination with Pu in the Vicinity of the FSUE Mayak PA in the Period from 2002 to 2016. *Radiation Safety Problems*, 2017, no. 2, pp. 35–46. (In Russian).
17. Mokrov K. Y., Mokrov Y. G. Estimation of Integral Carry-Over of Long-Lived Radionuclides with Water Aerosol from Karachay Lake based on Data Analysis on Soil Contamination in the Proximity of the Water Reservoir. *Radiation Safety Problems*, 2018, no. 1, pp. 19–35. (In Russian).

---

### Authors information:

*Mokrov Yuri Gennadievich*, Doctor of Engineering Science, Science and Ecology Adviser General Director, FSUE Mayak PA, (18, Ermolaeva st., Ozyorsk, Chelyabinsk Region, 456780, Russia), e-mail: [mokrov@po-mayak.ru](mailto:mokrov@po-mayak.ru).

*Alexakhin Alexey Ivanovich*, Candidate of Engineering Science, Head of Ecological Safety and Environmental Protection Laboratory, CPL Mayak PA, (18, Ermolaeva st., Ozyorsk, Chelyabinsk Region, 456780, Russia), e-mail: [rem@po-mayak.ru](mailto:rem@po-mayak.ru).

### Bibliographic description

Mokrov Yu. G., Alexakhin A. I. Monitoring as the Basis for Ensuring Safety of Karachay Lake Closure Implementation. *Radioactive Waste*, 2018, no. 3 (4), pp. 60–68. (In Russian).