

Формирование радиоактивного загрязнения Ольховского болота

Есть предположение, что Белоярская АЭС с 1977 г. начала сбрасывать радионуклиды в Ольховское болото, его загрязнение происходило как загрязнение проточного болота. Для такого болота в данной работе была разработана численная модель и проведены расчеты с основными сбросами, продолжавшимися 15 лет, начиная с 1977 г.

Б.Е.Серебряков, А.Г.Цовьянов

(ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва)

Ольховское болото расположено примерно в 5 км юго-восточнее Белоярской АЭС и примерно в 3 км восточнее г. Заречного. Болото имеет удлиненную форму с юго-запада, протяженность болота около 2,5 км при общей площади около 0,3 км². Из болота вытекает р. Ольховка. В это болото проводится сброс хозяйственной канализации (ХФК) как со станции, так и из города. В статье [1] был сделан вывод, что с 1977 г. основной сброс загрязненных вод со станции начал проводиться не в Белоярское водохранилище, а в Ольховское болото через ХФК.

Загрязнение болота много лет исследовали Институт экологии растений и животных (ИЭРиЖ УрО РАН), Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций (АО «ВНИИАЭС») и другие организации. В отличие от Белоярского водохранилища, достаточно детальные данные по распределению загрязнения по территории Ольховского болота отсутствуют. Связано

Ключевые слова:

Белоярская АЭС, Ольховское болото, донные отложения, радионуклиды, обводной канал ХФК г. Заречного.

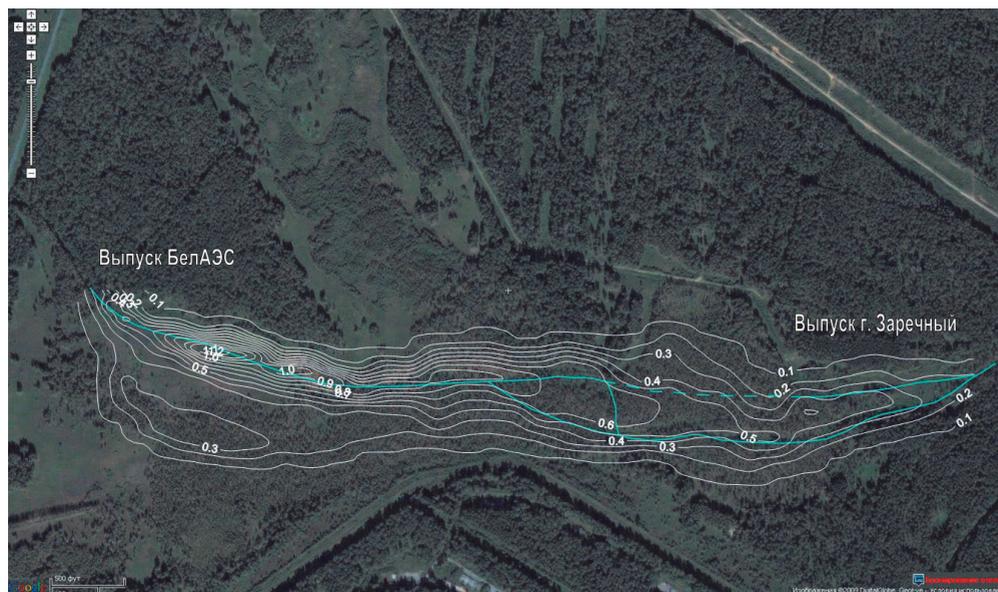


Рис.1.
План изолиний
распределения
мощности
дозы в Оль-
ховском боло-
те, мкЗв/ч.
Голубыми
линиями пока-
заны протоки
в болоте, ха-
рактеризую-
щиеся малыми
величинами
мощности
дозы.

это с плохой проходимостью болота и с «экологическим» подходом к изучению окружающей среды, когда берутся пробы без определенной системы и без топопривязки. Для Ольховского болота подходит древняя притча про слепых и слона: каждый из слепых приводил свои представления о слоне.

Проводить разумное моделирование загрязнения болота по таким отрывочным измерениям невозможно. Чтобы иметь представление о пространственном распределении радионуклидов в болоте, одним из авторов данной работы в 2009 г. в одиночку была проведена пешеходная площадная съемка мощности дозы (МД) гамма-излучения по всей площади болота. В качестве топоосновы использовались спутниковые снимки.

На рис.1 приведены изолинии мощности дозы, построенные по данным пешеходной гамма-съемки. На этом рисунке голубыми линиями схематично показаны протоки, образовавшиеся в болоте. Мощность дозы в этих протоках до порядка расположенных донных отложениях. Типичный профиль мощности дозы через болото приведен на рис.2. Из рисунка видно, как резко уменьшается мощность дозы в протоке. Такое уменьшение мощности дозы в протоках не показано на рис.1, т. к. его невозможно отобразить на изолиниях.

На рис.1 показаны два выпуска коллекторов ХФК: в начале болота (выпуск Белоярской АЭС), и в конце болота (выпуск г. Заречного). Раньше оба сброса

проводились в начале болота. Но за два года до площадной гамма-съемки по рекомендациям экологов был построен обводной коллектор для ХФК г. Заречного. Получается, что обводной коллектор ХФК г. Заречного был сооружен к 2007 г., этот коллектор хорошо виден на рис.1.

Обводной коллектор для ХФК г. Заречного был сделан, чтобы восстановить защитные свойства Ольховского болота. При пешеходной съемке болота было обнаружено, что протока в болоте от самого выпуска коллектора ХФК Белоярской АЭС имеет вид ручья, текущего между твердыми берегами. Естественно, ни о каком восстановлении защитных свойств болота не может быть и речи.

В данной работе полагается, что гамма-излучение от отложений болота связано

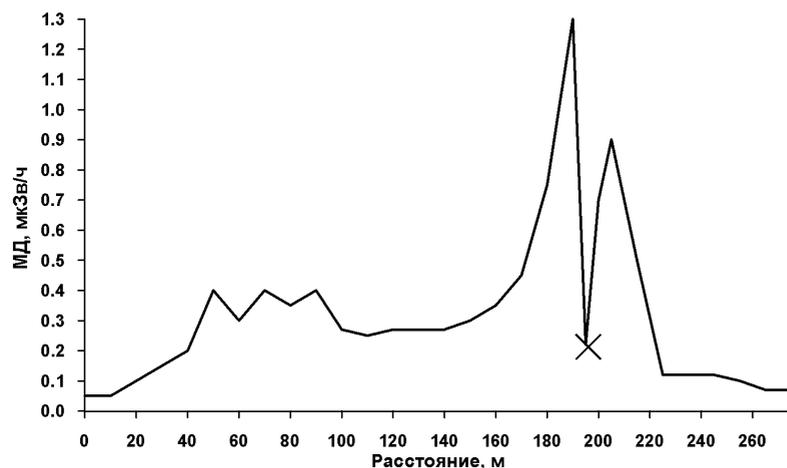


Рис. 2. Изменение мощности дозы по профилю с юга на север, крестиком отмечено измерение, выполненное в протоке.

только с ^{137}Cs . Оценку общего содержания ^{137}Cs в болоте можно получить исходя из поверхностной загрязненности болотных отложений, рассчитанной по мощности дозы. Согласно справочнику [2], поверхностная активность ^{137}Cs , равная 10^6 Бк/м², создает мощность дозы внешнего облучения примерно 1 мкЗв/ч. Путем численного интегрирования распределения поверхностной активности ^{137}Cs по площади болота было получено суммарное содержание радионуклида в болоте, которое на 2009 г. составило примерно $1,5 \cdot 10^{11}$ Бк.

Учитывая, что площадь болота составляет примерно 0,3 км², средняя поверхностная активность ^{137}Cs получается $5 \cdot 10^5$ Бк/м². Если принять толщину донных отложений 0,25 м, а плотность 1000 кг/м³, средняя удельная активность получается 2000 Бк/кг.

Западная часть Ольховского болота до образования протоки представляла собой типичное торфяное болото – водоем, заполненный торфяными отложениями, с озерцом на поверхности. Вот как описано это болото в [3] на конец 80-х годов: «В некоторых местах болота наблюдаются направленные водные потоки типа ручьев и маленьких речек, местами образующих ярко выраженные русла. Эти потоки местами исчезают, скрываясь на глубину. Пока трудно сказать, образуют ли они единое «прострельное русло». Скорее всего, в начале 90-х гг. «прострельное русло» превратилось в полноценный ручей и произошло осушение торфяного болота.

Очевидно, что основное накопление радионуклидов в болоте происходило во время существования торфяного болота, т. к. в это время про-

исходили основные сбросы радионуклидов. Из рис. 1 видно, что максимальное загрязнение донных отложений наблюдается вблизи протоки. Поэтому для моделирования распределения радионуклидов в болоте в данной работе полагается, что имеется поток воды через неподвижный водоем, т. е. имеется единое «прострельное русло». Радионуклиды поступают с этим потоком, перераспределяясь по всему водоему за счет турбулентной диффузии или дисперсии скорости.

Вообще говоря, загрязнение болота, как ограниченного водоема, скорее всего, тоже имело место. На рис. 1 видно, что в юго-западной части болота имеется выраженная аномалия увеличения мощности дозы, отделенная от протоки. Но общее содержание радионуклидов, приуроченных к протоке, значительно больше содержания их в аномалии, поэтому загрязнение болота как замкнутого водоема не учитывалось.

В [2] написано, что расход р. Ольховки составляет $(3-4) \cdot 10^6$ м³/год. В данной работе полагается, что в начале болота расход воды в описанном выше потоке за счет ХФК города и станции составляет $2 \cdot 10^6$ м³/год. Этот поток увеличивается к концу болота до $4 \cdot 10^6$ м³/год. Полагается, что со временем этот

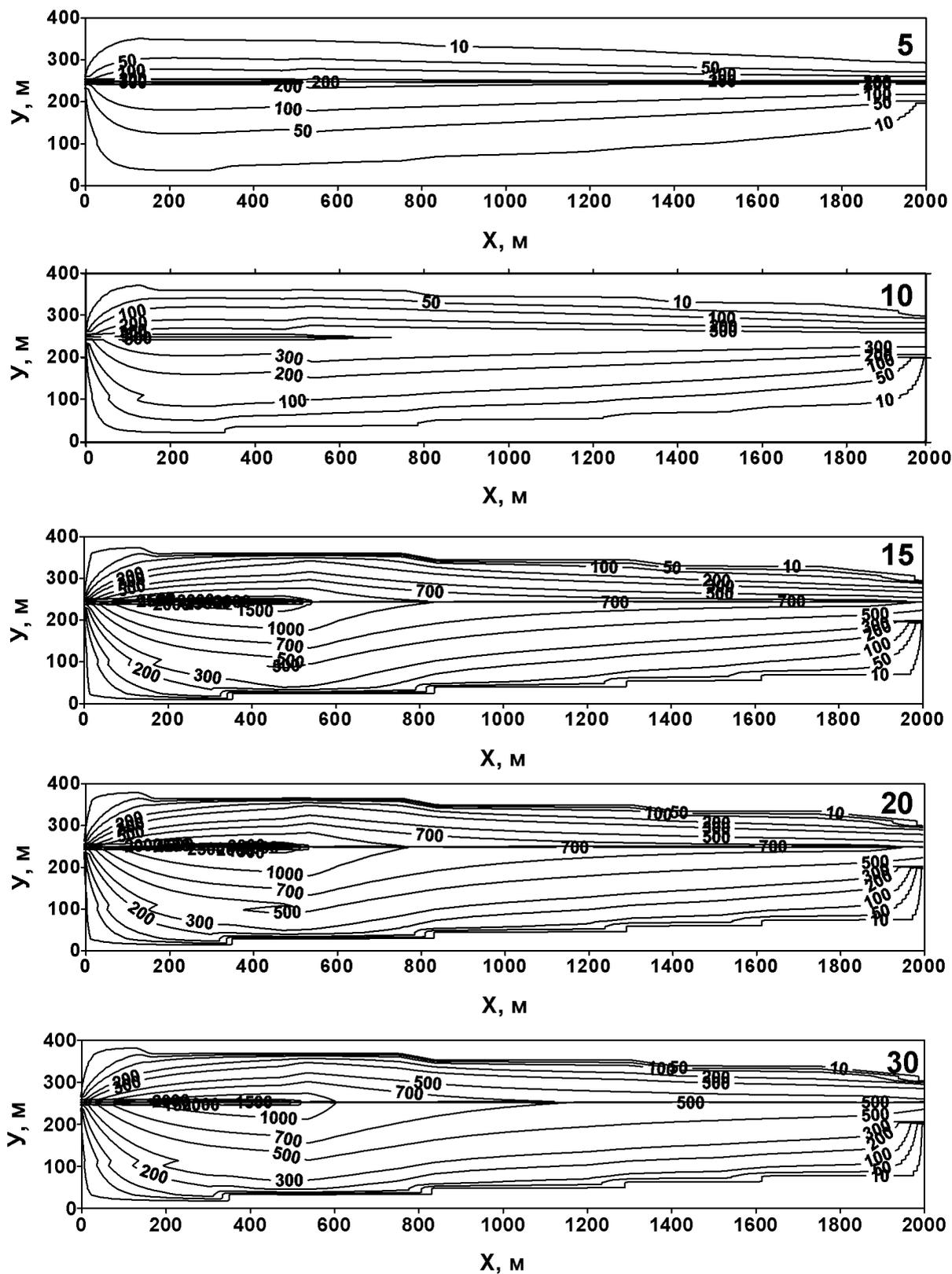


Рис.3. Рассчитанное распределение поверхностной активности ^{137}Cs в болотных отложениях ($\text{кБк}/\text{м}^2$) через 5, 10, 15, 20 и 30 лет после начала аварийных сбросов.

поток превратился в вышеописанную протоку.

Скорость течения воды в потоке полагается равной расходу, деленному на сечение русла ручья. При проведении расчетов полагается, что ширина протоки равна 2 м, длина равна 2 км, глубина в начале потока равна 0,3 м. Полагается, что скорость течения по всей длине ручья постоянна. При проведении расчетов полагается, что расход ручья увеличивается пропорционально расстоянию от его начала, поэтому при проведении расчетов полагается, что глубина ручья увеличивается таким образом, чтобы скорость течения была постоянной. Скорость течения в потоке получается примерно 0,1 м/с.

Полагается, что болото имеет ширину 400 м, длину 2000 м, средняя глубина воды в болоте равна 0,3 м. Из рис.1 видно, что на юг от протоки распространение радионуклидов произошло примерно в 1,5 раза дальше, чем на север. Поэтому полагается, что протока отстоит от северного края болота на 150 м, а от южного на 250 м.

Расчет загрязнения Ольховского болота проводился путем численного решения дифференциальных уравнений, приведенных в [1]. В указанной статье приведены три уравнения: двумерное

уравнение в частных производных для расчета загрязнения воды, одномерное уравнение для расчета загрязнения донных отложений и обыкновенное уравнение для расчета загрязнения активного слоя донных отложений.

Величина коэффициента турбулентной диффузии или дисперсии скорости севернее протоки полагалась равной $6 \cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{год}$ ($2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$); южнее протоки больше в 5 раз: $3 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{год}$ ($10^{-2} \text{ м}^2/\text{с}$). Скорость накопления осадков полагалась 0,8 см/год. Остальные параметры принимались, как в статье [1].

В [1] был сделан вывод, что с 1977 г. станция начала сбрасывать загрязненные воды не в Белоярское водохранилище, а в Ольховское болото. В статье [4] приведены данные по активности радионуклидов в воде и в донных отложениях Ольховского болота для трех периодов: с 1978 по 1988 гг., с 1989 по 1991 гг. и с 1992 по 2009 гг. Согласно этим данным, загрязнение болота проходило в первом и втором периоде.

Поэтому в данной работе полагается, что значительное поступление радионуклидов в болото происходило с 1977 по 1991 гг. Расчеты проводились только для ^{137}Cs . Путем предварительных расчетов было получено, что за эти

15 лет поступление ^{137}Cs могло составить $1,8 \cdot 10^{12}$ Бк, или $1,2 \cdot 10^{11}$ Бк/год. Выше был приведен расход сброса ХФК в начало болота, равный $2 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{год}$. Получается, что с 1977 по 1991 гг. средняя активность ^{137}Cs в сбросной воде была 60 Бк/л.

На рис.3 приведено последовательное изменение со временем рассчитанной поверхностной активности ^{137}Cs в болотных отложениях. Поверхностная активность была получена путем интегрирования объемной активности на глубину, равную 1 м. Поверхностную активность следует признать наиболее информативным параметром. Кстати, именно проинтегрированная на всю глубину активность обычно используется для характеристики загрязнения территорий, а отдельные пробы, как правило, мало что значат.

Из рис.3 видно, как происходило постепенное загрязнение болотных отложений в течение 15 лет, когда происходит сброс. Загрязнение донных отложений начинается в западной части болота от потока воды в болоте. В восточной части загрязнение болота также происходит от потока воды, но не так интенсивно, как в западной части. Через 15 лет, когда сброс загрязненных вод почти прекратился, начало происхо-

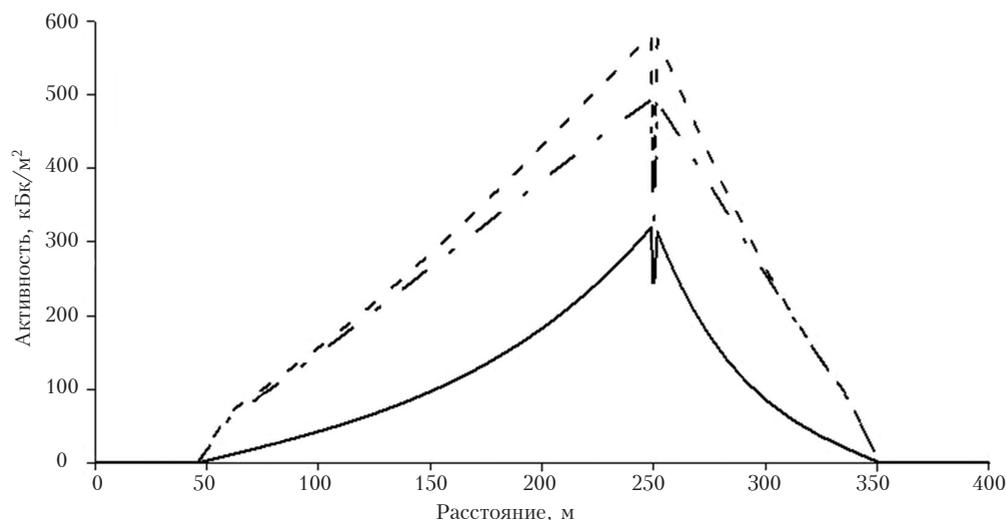


Рис. 4. Изменение рассчитанной поверхностной активности ^{137}Cs поперек болота на расстоянии 1 км от его начала. Сплошные линии – через 10 лет после начала сбросов, пунктир – через 20 лет, штрих-пунктир – через 30 лет.

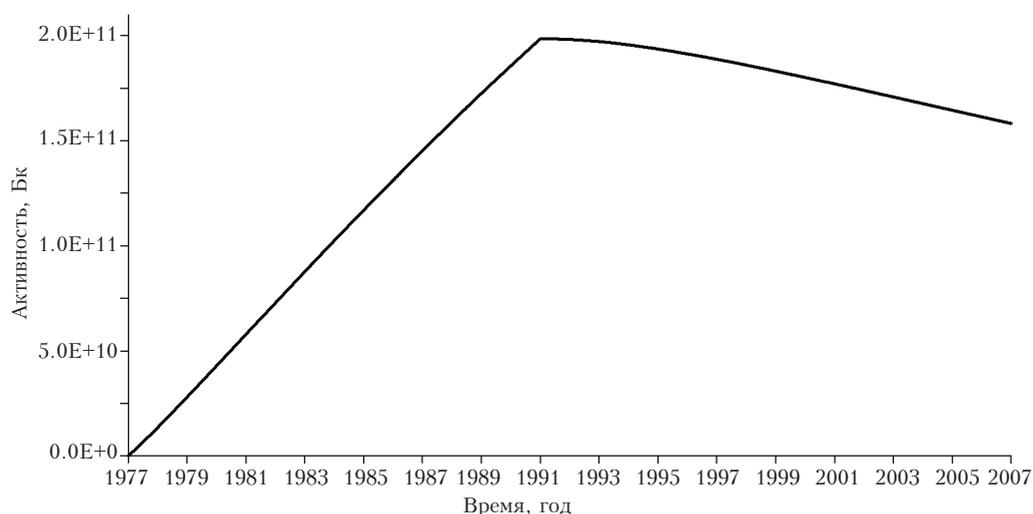


Рис. 5. Изменение со временем суммарной активности ^{137}Cs в болотных отложениях.

дить постепенное уменьшение загрязнения.

Расчитанное распределение активности ^{137}Cs (рис.3) качественно соответствует экспериментальному распределению мощности дозы, приведенному на рис.1. Из сравнения этих рисунков следует, что как в расчетах, так и в эксперименте, в западной части болота активность и мощность дозы возрастает вблизи протоки. Это свидетельствует о том, что загряз-

нение болота происходило от образовавшихся потоков воды. Эти потоки со временем образовали протоку, которая была обнаружена во время пешеходной гамма-съемки в 2009 г.

На рис.4 приведено рассчитанное изменение поверхностной активности ^{137}Cs поперек болота для разных моментов времени. Видно, что расчеты соответствуют экспериментальным данным (рис.2): как в расчетах, так и в измерени-

ях наблюдается уменьшение активности радионуклида в протоке.

На рис.5 приведено изменение со временем суммарной активности ^{137}Cs в Ольховском болоте. Эта активность была получена путем интегрирования по площади поверхностной активности, показанной на рис.3. Из рис.5 видно, что максимальная суммарная активность ^{137}Cs в 1991 г. была примерно $2 \cdot 10^{11}$ Бк, а в 2007 г. –

1,5·10¹¹ Бк. При интерпретации результатов пешеходной гамма-съемки было получено, что на 2009 г. общее содержание ¹³⁷Cs в болоте примерно равно 1,5·10¹¹ Бк. Т. е. расчеты соответствуют экспериментальным данным, полученным при выполнении данной работы.

В расчетах полагалось, что основное поступление радионуклидов в болото происходило 15 лет – с 1977 по 1991 годы. За это время поступление ¹³⁷Cs составило 1,8·10¹² Бк. Из этой величины по расчетам в болоте задержалось примерно 2·10¹¹ Бк, т. е. только около 10%. Получается, что болото не является эффективным барьером для задержки радионуклидов.

Совсем другие результаты приведены в [3], согласно которым общее содержание ¹³⁷Cs в болоте на конец 80-х гг. составляло 2,2·10¹² Бк, эти результаты больше расчетов данной работы примерно на порядок. Согласно [3] оценку общего содержания радионуклидов проводили примерно так же, как в данной работе, т. е. по результатам пешеходной гамма-съемки. В настоящее время невозможно оценить правильность полученных в [3] результатов по содержанию радионуклидов в болоте.

Из [3] следует, что у авторов статьи создалось

представление о болоте как о практически замкнутом водоеме, но с возможностью его превращения в проточный водоем. Такое представление привело к сооружению обводного коллектора для ХФК г. Заречный длиной примерно 2,5 км. Коллектор был сооружен для сохранения и восстановления защитных свойств болота. Выше было показано, что никакого восстановления не произошло из-за того, что ко времени строительства коллектора болото было уже проточным водоемом, и коллектор оказался бесполезным.

В месте выпуска трубы проложены прямо на земле, сверху они закрыты насыпью высотой примерно 2 м. Если весь коллектор сооружен также, то на засыпку труб, возможно, пошло больше 1000 самосвалов КАМАЗ. Несомненно, что стоимость коллектора составила многие миллионы рублей.

Если говорить про экологию Ольховского болота, то прежде всего следует отметить животных, обитающих на болоте и в его окрестностях. За время пешеходной съемки встречались косули, лисы и хищные птицы. На болоте и в р. Ольховке много бобров, но они скрывались при приближении людей, слышен был только треск падающих деревьев, подпаленных бобрами. Эти бобры,

строая плотины, увеличивают защитные свойства болота гораздо сильнее, чем обводной коллектор ХФК г. Заречного.

Как и в Чернобыльской зоне отчуждения, на Ольховском болоте природа взяла свое, и задача человека – сохранить эту природу. Следует ограничить доступ людей на болото для сохранения фауны болота, а не из-за радиационной опасности, которой практически нет. Также следует соорудить кормушки для косуль и лосей и своевременно доставлять туда корм.

Выводы

1. Несмотря на многочисленные исследования Ольховского болота, общая картина распределения загрязнения по болоту оказалась практически неизвестной. Чтобы иметь представление о пространственном распределении радионуклидов в болоте, одним из авторов данной работы в 2009 г. в одиночку была проведена пешеходная площадная съемка мощности дозы гамма-излучения по всей площади болота. На основе съемки общее содержание ¹³⁷Cs в болоте получилось примерно 1,5·10¹¹ Бк.

2. Было обнаружено, что ранее существовавшее торфяное болото оказалось осушенным из-за образования протоки от сбросов ХФК станции и г. Заречного. Максимальное

загрязнение донных отложений наблюдается непосредственно вблизи протоки, но в самой протоке мощность дозы значительно меньше. Был сделан вывод, что за все время сбросов ХФК в болоте существовало «прострельное русло», от которого происходило загрязнение болота. Русло со временем превратилось в протоку, и произошло осушение болота.

3. Для расчета распределения радионуклидов в болоте была разработана численная модель, в которой полагалось, что имеется поток воды через неподвижный водоем. Радионуклиды поступают с этим потоком, перераспределяясь по всему водоему за счет турбулентной диффузии или дисперсии скорости.

4. В [1] был сделан вывод, что Белоярская АЭС с 1977 г. стала сбрасывать загрязнен-

ные воды не в водохранилище, а в Ольховское болото. Для расчетов полагалось, что основные сбросы ^{137}Cs осуществлялись 15 лет с 1977 по 1991 гг., за это время было сброшено $1,8 \cdot 10^{12}$ Бк ^{137}Cs , или $1,2 \cdot 10^{11}$ Бк/год.

Согласно расчетам, максимальное содержание ^{137}Cs в болоте составило примерно $2 \cdot 10^{11}$, т. е. в болоте задержалось только примерно 10% поступившей активности. Полученные результаты примерно на порядок меньше приведенных в [3] значений, где было подсчитано, что общее содержание ^{137}Cs в болоте на конец 80-х гг. составляло $2,2 \cdot 10^{12}$ Бк.

5. В начале 90-х гг. у исследователей создалось представление о болоте, как о замкнутом водоеме, и были даны рекомендации о сооружении обводного

коллектора для сохранения и восстановления защитных свойств болота. Но ко времени сооружения коллектора в 2007 г. болото превратилось в проточный водоем, никакого восстановления не произошло, и коллектор оказался бесполезным.

6. Как и в Чернобыльской зоне отчуждения, на Ольховском болоте природа взяла свое. Например, в болоте много бобров, которые, строя плотины, увеличивают защитные свойства болота гораздо сильнее, чем обводной коллектор ХФК г. Заречного. Задача человека сохранить эту природу: следует ограничить доступ людей на болото для сохранения фауны болота, также следует соорудить кормушки для косуль и лосей и своевременно доставлять туда корм.

Литература

1. Серебряков Б.Е., Цовьянов А.Г. Оценка поступлений радионуклидов в водоем-охладитель Белоярской АЭС и их последствий // АНРИ. 2020. № 3(102). С. 58-66.
2. Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере. Справочник. Энергоиздат, М.: 1986. 256 с.
3. Кононович А.Л. и др. Влияние радиоактивного загрязнения, депонированного в болоте, на радиационную обстановку в прилегающем регионе // Атомная энергия. Том 71, вып. 3, 1991. С. 249-254.
4. Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Михайловская Л.Н. Итоги многолетних радиоэкологических исследований природных экосистем в зоне жидких сбросов Белоярской атомной станции // Вопросы радиационной безопасности. 2009. № 4. С. 20-27.

Formation of Radioactive Contamination of the Olkhovsky Swamp

Serebryakov Boris, Tsovyanov Alexander (State research center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of the Federal Medical Biological Agency of Russia, Moscow, Russia)

Abstract. According to [1] Beloyarskaya NPP began discharge radionuclides into the Olkhov swamp in 1977, and its contamination occurred as a flowing swamp. In this paper, a numerical model was developed for such a swamp and calculations were made with the main discharges that lasted for 15 years, starting from 1977.

Key words: *Beloyarsk NPP, Olkhovsky swamp, bottom sediments, radionuclides, sewer system of Zarechny.*

Б.Е.Серебряков (в.н.с., к.ф.-м.н.), А.Г.Цовьянов (зав.лаб.) – ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва.

Контакты: тел. +7 (906) 739-63-27; e-mail: bserebr@yandex.ru.