

СТАТЬИ

**ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ
С ЗАГРЯЗНЕННЫХ УЧАСТКОВ ТЕРРИТОРИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ “МОСКОВСКИЙ ЗАВОД ПОЛИМЕТАЛЛОВ”**

Б.Г. Гордон, Р.Б. Шарафутдинов, А.В. Талицкая (НТЦ ЯРБ)

Приведены результаты прогнозных расчетов миграции радионуклидов ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs , ^{40}K с загрязненных участков территории ГП “МЗП” в Москву-реку. Показано, что в связи с низкими величинами пиковых значений удельной активности радионуклидов в месте разгрузки верховодки в Москву-реку и ее достаточно быстрым течением прогнозируемое поступление радионуклидов в реку пренебрежимо мало.

В результате производственной деятельности человека возникла проблема загрязненных радиоактивными веществами территорий. Причины радиоактивного загрязнения – производство и испытания ядерного оружия, аварии на работающих с радиоактивными веществами предприятиях (радиохимические производства, ядерно-энергетический комплекс), а также нерациональная деятельность этих предприятий, приведшая к сбросам радиоактивных отходов в окружающую среду. В этой связи остро стоит вопрос реабилитации загрязненных территорий.

С 1934 по 1972 г. на Государственном предприятии “Московский завод полиметаллов” (ГП “МЗП”) производилась редкоземельная продукция, торий и уран из руд редких и радиоактивных элементов. Недостаточное внимание к вопросам обеспечения безопасности среды обитания и радиационно-экологической обстановки привели к значительному загрязнению промплощадки, зданий и сооружений, территории предприятия. С 1995 г. по настоящее время здесь выполнены исследования по выявлению радиоактивных загрязнений в зданиях, сооружениях, на поверхности и в вертикальном профиле грунтов промплощадки. Проведены работы по дезактивации 23 корпусов и водонасосной станции, а также по ликвидации радиоактивно загрязненных участков с выемкой грунтов до глубины 1 м. Отходы сортировали, а затем вывозили на долговременное хранение на полигон ГУП МосНПО “Радон” [1].

После дезактивации остались загрязненные радиоактивными и химическими веществами участки, расположенные на глубине более 1 м. В связи с этим выполнены глубинные радиационно-экологические изыскания с бурением скважин и проведением в них гамма-каротажа.

Целью данной работы был долгосрочный прогноз миграции радионуклидов ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs , ^{40}K с загрязненных участков территории ГП “МЗП” в Москву-реку с подземными водами.

Для проведения расчета на территории предприятия выделены три радиоактивно загрязненных участка (рис. 1).

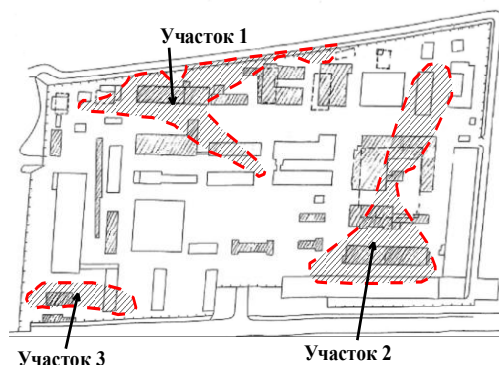


Рис. 1. Загрязненные участки на территории ГП “МЗП” на глубине 1-15 м

Предприя-
1500 м²
правом
и в
террасы

на расстоянии 150-250 м от реки. Склон террасы оползневой, изрезан многочисленными оврагами, часть которых засыпана техногенным грунтом.

Геологическое строение района расположения ГП "МЗП" характеризуется наличием горных пород каменноугольного (известняки), юрского (глины мощностью до 1 м), мелового (суглинки мощностью до 1,2 м), четвертичного (суглинки мощностью 2,5 м) возрастов и техногенных отложений (суглинки, супеси, пески со строительным мусором мощностью до 10 м).

Для гидрогеологических условий территории предприятия характерно наличие в насыпных грунтах верховодки (локально распространенных, непостоянно существующих скоплений гравитационных вод в породах зоны аэрации выше уровня грунтового водоносного горизонта). Насыпные грунты максимально наполняются водой в весенний период таяния снегов и осенью. Мощность верховодки 1 м, глубина залегания 7-9 м. Коэффициент фильтрации насыпных грунтов 0,1-1 м/сут.

Питание верховодки осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и талых вод. С учетом особенностей рельефа района размещения предприятия можно полагать, что верховодка движется в северо-западном и северо-восточном направлениях вниз по склону к Москве-реке.

Разгрузка верховодки происходит в Москву-реку путем перетекания в нижележащий водоносный горизонт в области контакта насыпных грунтов с песками, а также испарения вследствие неглубокого залегания верховодки.

Водоупором для верховодки служат водно-ледниковые суглинки, не повсеместно развитые на территории предприятия. Мощность суглинков 0 - 8,5 м, коэффициент фильтрации 0,01 м/сут.

Основной горизонт грунтовых вод приурочен к пескам мелового возраста и расположен на глубине 11,8-16,4 м. Мощность водоносного горизонта 16 м, коэффициент фильтрации песков 1,0 м/сут.

Водоносный горизонт питается в основном за счет воды, перетекающей из верховодки, и движется в сторону Москвы-реки и в нижележащие водоносные горизонты.

На рис. 2 приведен сценарий миграции радионуклидов с промплощадки ГП "МЗП" в геосферу.

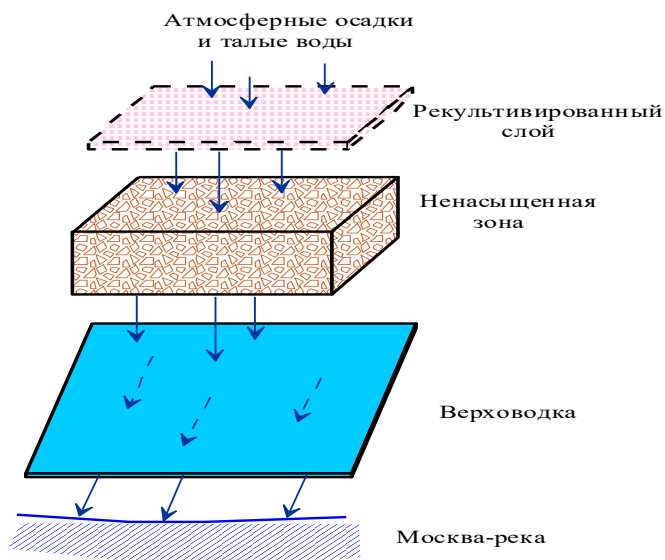


Рис. 2. Сценарий миграции радионуклидов

На поверхность земли попадают атмосферные осадки и талые воды. Часть их в процессе инфильтрации через почвенный слой проникает в ненасыщенную зону и затем

в водоносный горизонт. При инфильтрации воды через породу происходит выщелачивание химических элементов, в том числе радионуклидов с загрязненных участков. Параллельно выщелачиванию происходит осаждение химических соединений, содержащих радионуклиды, из раствора на поверхности минералов и изоморфное замещение ионов в кристаллической решетке минералов из-за изменения геохимической обстановки.

Когда инфильтрующиеся воды достигают верховодки, радионуклиды перемещаются в основном за счет конвективного переноса с водой. Между жидкой и твердой фазами водоносного горизонта они распределяются главным образом вследствие таких процессов, как сорбция, десорбция и ионный обмен.

Из соображений консерватизма и для возможности проведения прогнозного расчета принят ряд допущений.

1. Рассмотрена миграция в геосфере следующих радионуклидов: ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs , ^{40}K .

2. Территория предприятия условно разделена на девять районов по площади и на четыре слоя по глубине (рекультивированный в 2004 г. слой грунта мощностью 1 м, слои 0-3, 3-7,5 и 7,5-8,5 м) с учетом расположения загрязненных участков так, чтобы каждый из них находился в одном слое по глубине. По площади загрязненные участки попадают в один или несколько выделенных участков. Таким образом, территория предприятия условно разделена на 36 блоков.

3. В каждом блоке по результатам радиационно-экологического мониторинга на территории ГП "МЗП" и гамма-каротажа в скважинах задана усредненная удельная активность каждого из радионуклидов.

4. Количество атмосферных осадков, фильтрующихся через загрязненные радионуклидами участки территории ГП "МЗП", определено как разница между средним количеством атмосферных осадков и испарением в Москве.

5. Принято, что радионуклиды в водоносном горизонте распространяются по одномерной плоскопараллельной схеме. Процесс их распространения постоянный во времени. Поперечная дисперсия радионуклидов в водоносном горизонте не учитывалась.

6. Исходными данными об удельной активности радионуклидов приняты значения удельной активности по состоянию на 2004 г. в пересчете на 1934 г.

7. Верховодка существует круглый год.

8. Конечным результатом прогнозного расчета принята удельная активность радионуклидов в воде верховодки в месте ее разгрузки в Москву-реку.

9. Прогнозный расчет значений удельной активности радионуклидов в верховодке представлен на момент достижения максимальных (пиковых) значений.

Для моделирования миграции радионуклидов с загрязненных участков территории ГП "МЗП" в геосферу использовался метод камерного моделирования [2] с применением программы AMBER 4.4 [3]. Задавались следующие подмодели: подмодель рекультивированного слоя (Remediation), подмодель слоя 1 (Layer1), подмодель слоя 2 (Layer2), подмодель слоя 3 (Layer3) (рис. 3).

Из каждого блока рекультивированного слоя происходит последовательная фильтрация воды (flow) из вышележащих в нижележащие слои (рис. 4).

В подмодели верховодки (рис. 5) камеры связаны процессами прямой и обратной дисперсии (Disp_back и Disp_forw) и адвекции (Advection).

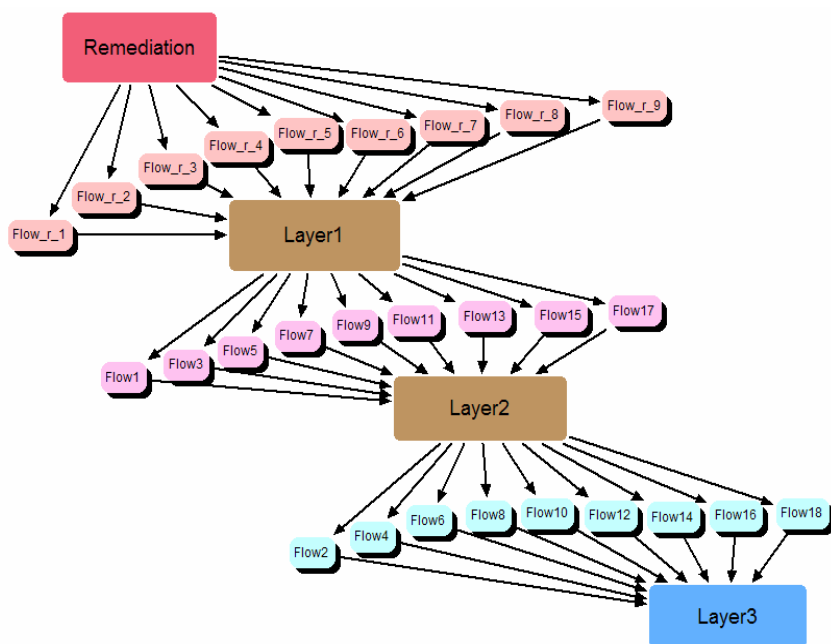


Рис. 3. Камерная модель территории ГП “МЗП”

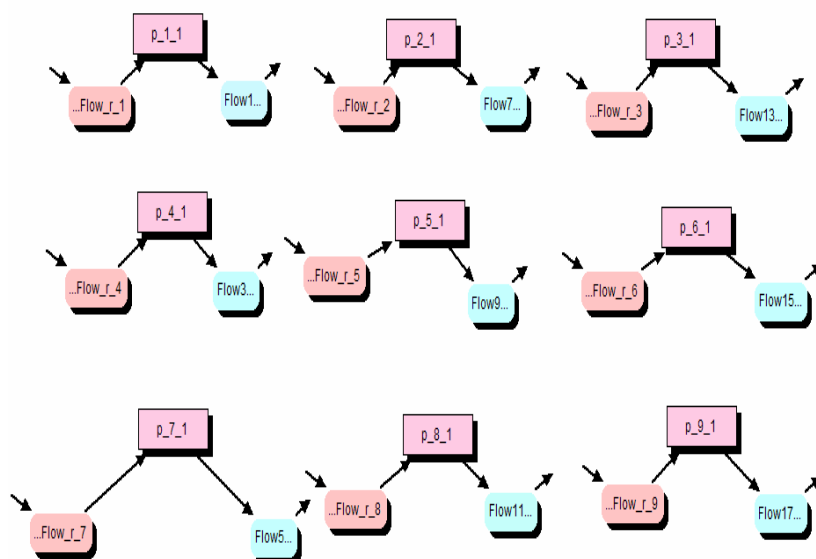


Рис. 4. Подмодель слоя 1 территории ГП “МЗП”

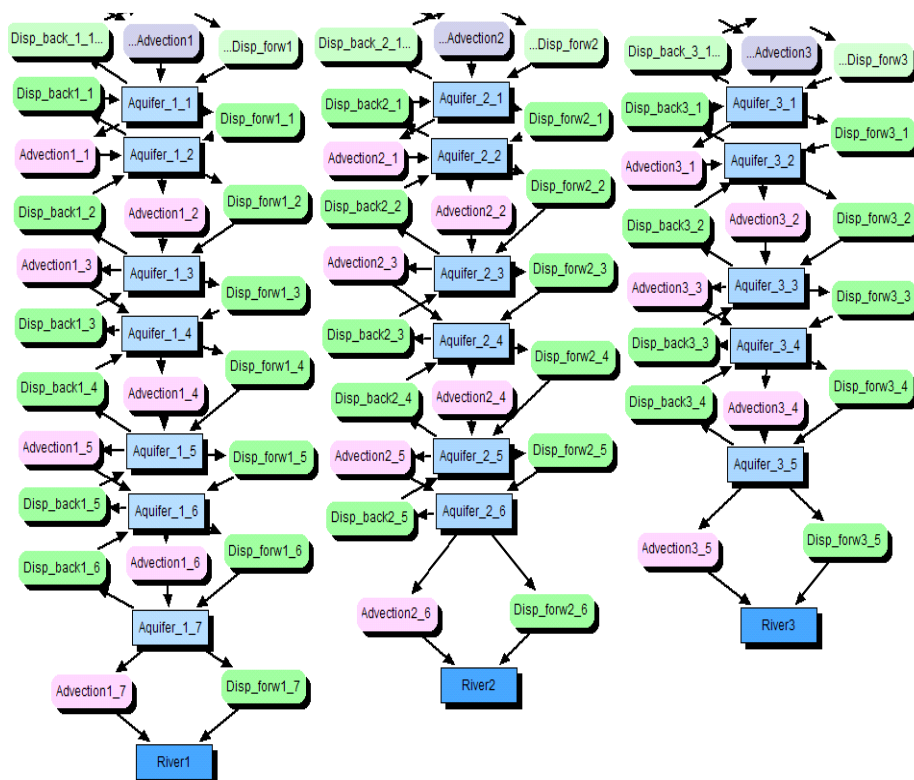


Рис. 5. Подмодель верховодки

Из водоносного горизонта происходит вынос радионуклидов из системы в блоки, названные River1, River2, River3.

Для моделирования использовались данные, полученные в ходе геофизических и геолого-гидрогеологических работ на ГП "МЗГ", а также из литературных источников [4, 5].

Результаты расчетов позволили сделать следующие выводы.

1. Ни по одному из исследованных радионуклидов не прогнозируется превышение уровней вмешательства по воде УВ^{вода}, установленных в приложении П-2 Норм радиационной безопасности (НРБ-99), в воде верховодки в месте ее разгрузки в Москву-реку.

2. Из-за весьма небольших величин пиковых значений удельной активности радионуклидов в месте разгрузки верховодки в Москву-реку и быстрого течения реки прогнозируемое поступление радионуклидов в реку пренебрежимо мало.

2.1. Миграция радионуклидов ^{137}Cs и ^{226}Ra с водой верховодки от радиоактивно загрязненных участков территории промплощадки ГП "МЗГ" до Москвы-реки не прогнозируется.

2.2. Пиковое значение удельной активности ^{238}U ($1,3 \cdot 10^{-4}$ Бк/кг) и ^{40}K ($1,8 \cdot 10^{-4}$ Бк/кг) в воде верховодки в месте разгрузки ее в Москву-реку прогнозируется соответственно через 10^4 и $1,2 \cdot 10^4$ лет (рис.6).

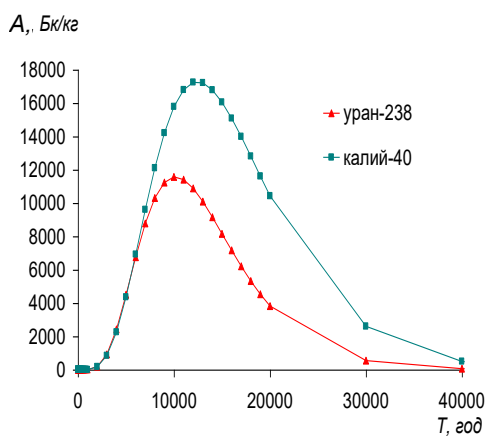


Рис. 6. Прогнозируемая удельная активность урана-238 и калия-40 в воде верховодки в месте ее разгрузки в Москву-реку

2.3. Пиковое значение удельной активности ^{232}Th ($9,4 \cdot 10^{-4}$ Бк/кг) в воде верховодки в месте разгрузки ее в Москву-реку прогнозируется через $2,6 \cdot 10^6$ лет (рис. 7).

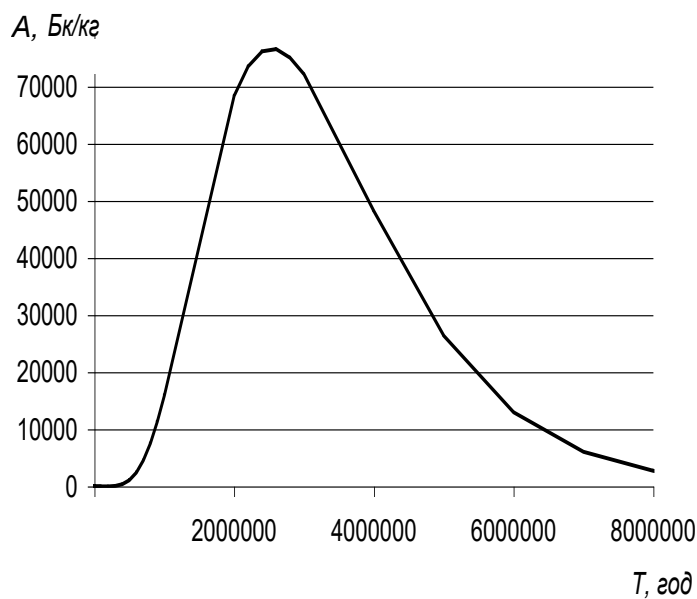


Рис. 7. Прогнозируемая удельная активность тория-232 в воде верховодки в месте ее разгрузки в Москву-реку

Статьи

Как показал анализ чувствительности модели миграции радионуклидов с радиоактивно загрязненных участков территории ГП "МЗП" в направлении к Москве-реке, проведенный в рамках долгосрочного прогноза, изменение значений параметров, определяющих проводящие свойства среды (пористость, коэффициент фильтрации ненасыщенной зоны и верховодки), незначительно влияет на конечный результат прогнозных расчетов.

Изменение коэффициента межфазного распределения радионуклидов K_d незначительно влияет на конечный результат, но приводит к изменению времени достижения пиковых значений удельных активностей радионуклидов.

Изложенный подход к моделированию и расчету миграции радионуклидов с загрязненных территорий может быть использован при проведении аналогичных работ.

Литература

1. Ликвидация очагов радиоактивного загрязнения и вывод из эксплуатации радиационно опасных объектов Государственного предприятия "Московский завод полиметаллов" Министерства РФ по атомной энергии. // В.В. Крюков, С.А. Дмитриев, В.Т. Сотсков и др. // 13-я ежегодная конференция Ядерного общества России. М.: 2002.
2. Trapp S., Matthies M. Chemodynamics and environmental modeling. Springer, 1998.
3. QuantiSci. AMBER 4.0 Reference Guide. QuantiSci Report QSL-5046A-1, Version 1.0, QuantiSci Limited, Culham, 2000.
4. Шестаков В.М. Гидрогеодинамика. М.: МГУ, 1995.
5. IAEA Tehnical Report Series № 364. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in temperate environments. Produced in collaboration with the International Union of Radioecologists. IAEA, Vienna, 1994.