

УДК 55(1/9) (572.2)

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ
В МАССИВАХ ГОРНЫХ ПОРОД**

Осмонбетов К.

ИГДиГТ, Бишкек, Кыргызстан, eakr.info@gmail.com

Аннотация: В данной статье рассмотрены вопросы разработки методов прогноза миграции радионуклидов в горных породах может выполняться по двум направлениям.

Ключевые слова: процесс миграции радионуклидов, горная порода, подземные ядерные взрывы, геологическая среда, радиоактивный отход, промсток, нагнетательная скважина.

**REGULARITIES OF RADIONUCLIDE
MIGRATION IN ROCK MASSIFS**

Osmonbetov K.

Institute of mining and mining technologies, Bishkek, Kyrgyzstan

Abstract: This article discusses the development of methods for predicting the migration of radionuclides in rocks can be performed in two directions.

Key words: radionuclide migration process, rock, underground nuclear explosions, geological environment, radioactive waste, washout, injection well.

Актуальность исследования закономерностей миграции радионуклидов в горных породах очевидна. Как известно, в бывшем СССР по программе исследований о возможности использования подземных ядерных взрывов в мирных целях было проведено свыше 100 взрывов в различных регионах и разнообразных геологических условиях. Кроме того, за последние годы в странах СНГ и за рубежом накоплено огромное количество радиоактивных отходов, временно хранящихся в основном на поверхности. В связи с этим, в соответствии с федеральной целевой программой, в России ведутся обширные научные и проектные работы, направленные на создание подземных хранилищ твердых или отверженных радиоактивных отходов. И в том и в другом случае важно знать, на какое расстояние и в какой

концентрации могут мигрировать с подземными водами радионуклиды от источника, например, в случае нарушения герметичности искусственных инженерных барьеров.

Разработка методов прогноза миграции радионуклидов в горных породах может выполняться по двум направлениям. Первое – это разработка математических моделей.

Преимущество данного направления – его универсальность. Главный недостаток – исключительная сложность учета всех условий, определяющих процесс миграции радионуклидов: оценка поведения каждого радионуклида в пористой или трещиноватой среде [3,6]; учет разбавления радионуклидов подземными водами и его сорбции данной породой; оценка структурных и фильтрационных свойств геологической среды и др. Все это может существенно сказаться на точности прогнозных расчетов.

Второе направление – эмпирическое, когда при наличии достаточного объема экспериментальных натурных данных подбирается эмпирическая формула, описывающая процесс миграции радионуклидов. Этот метод обеспечивает более высокую точность прогнозных расчетов, однако область его применения ограничивается объектами [1,2], близкими по исходным условиям.

В институте протехнологии Российской Федерации выполняются научно-исследовательские и проектные работы по подземному захоронению как жидких, так и твердых радиоактивных отходов. Необходимо отметить, что институт располагает обширной базой данных по миграции радионуклидов в различных горных породах [4].

Эти данные получены как по объектам, на которых осуществляется подземное захоронение жидких радиоактивных отходов, так и по объектам, где производились подземные ядерные взрывы.

Особую ценность в этом плане представляют фактические данные по объекту «Кама-2», на котором в течение длительного времени осуществляется подземное захоронение промстоков (нерадиоактивных) содо-цементного производства ОАО «Сода». Закачка промстоков выполняется через укрупненную нагнетательную скважину, на забое которой был произведен подземный ядерный взрыв мощностью около 10 кт на глубине свыше 2000 м.

На объекте имеется сеть наблюдательных скважин, расположенных на различных расстояниях от нагнетательной скважины.

За время работы объекта «Кама-2» накоплены уникальные данные по миграции радионуклидов по различным промпластам рабочего горизонта, общая высота которого составляет около 450 м.

Рабочий горизонт представлен прочными породами – известняками с прослоями доломитов [6,7,10], имеющими развитую сеть естественной трещиноватости. Эти породы близки к горным породам, в которых планируется сооружение подземных хранилищ для твердых радиоактивных отходов.

В течение многих лет через нагнетательную скважину закачиваются промстоки Стерлитамакского ОАО «Сода». В процессе эксплуатации объекта во всех скважинах регулярно проводились контрольные геофизические измерения, включая гамма-каротаж, который дает интегральную картину продвижения по рабочему горизонту гамма-излучающих радионуклидов (рис.1).

Источник радиоактивности в данном случае представляет собой несколько тысяч тонн переплавленной породы, содержащей осколочные и наведенные радионуклиды, а также остатки ядерного материала и десятки тысяч тонн раздробленной породы, поверхностно загрязненной в основном тремя радионуклидами: ^{90}Sr ; ^{137}Cs и ^3H .

Закачка в скважину промстоков с расходом около $4000 \text{ м}^3/\text{ч}$ приводит к их частичному загрязнению за счет десорбции с поверхности породы и выщелачивания из переплавленной породы.

Первоначально превалирует процесс десорбции, в последующем – частичное выщелачивание радионуклидов из расплава. Загрязнение закачиваемых промстоков в центральной зоне взрыва обуславливается в основном тремя радионуклидами: ^{90}Sr ; ^{137}Cs и ^3H [1,2,7] соответственно с первоначальной объемной активностью примерно $7,8 \cdot 10^5$, $1,6 \cdot 10^5$ и $1,4 \cdot 10^7$ Бк/л.

Наглядное представление о динамике прохождения фронта промстоков, загрязненных радионуклидами, через одну из наблюдательных скважин (скважина НБ-3, удаленная от нагнетательной скважины на 1000 м) на объекте «Кама-2» дает график (рис.1). Более полная информация о характере

изменения гамма-активности вследствие миграции по рабочему горизонту на объекте «Кама-2» представлена графически на *рис.2, 3*.

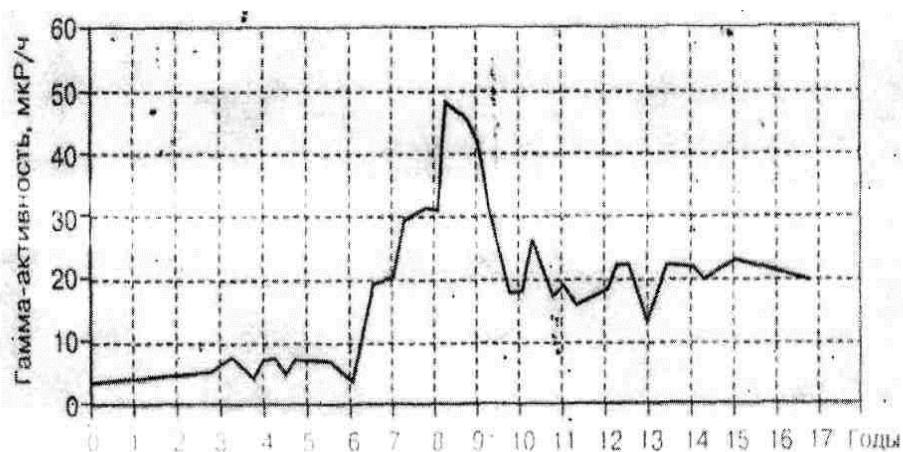
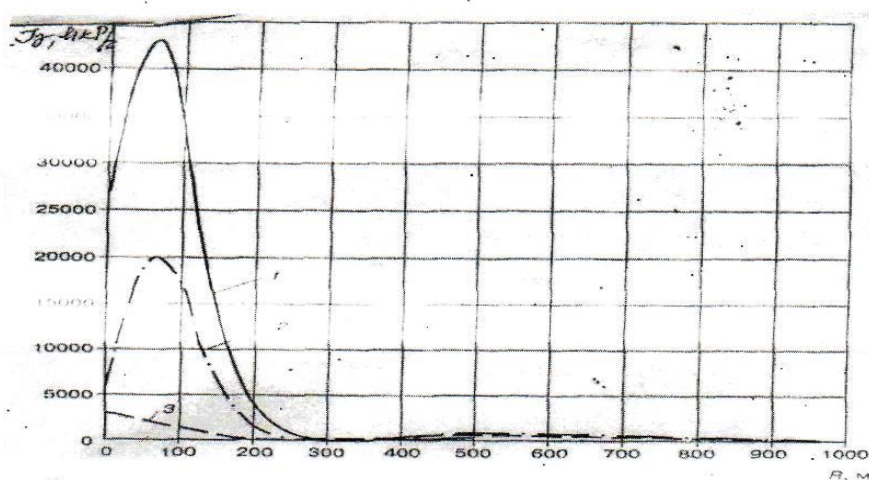


Рис. 1. Изменение гамма-активности во времени в интервале рабочего горизонта по скважине НБ-3 объекта «Кама-2».



*Рис. 2. Изменение экспозиционной дозы гамма-излучения J_γ в зависимости от расстояния R от нагнетательной скважины в интервале рабочего горизонта на объекте «Кама-2»:
1,2,3 - соответственно через год, 4 года и 9 лет после начала эксплуатации.*

Так, значения гамма-активности резко снижаются как с удалением от нагнетательной скважины, так и во времени, приближаясь к фоновым значениям. График динамики изменения гамма-активности в логарифмическом масштабе построен по данным максимальных значений гамма-активности, которые были зафиксированы в каждой из скважин в каком-либо из интервалов рабочего горизонта.

Нетрудно видеть, что по полученным данным можно провести две прямые, характеризующие динамику изменения гамма-активности по двум взаимно перпендикулярным направлениям; наиболее быстрое снижение гамма-активности наблюдается по направлению наблюдательных скважин НБ-1 и НБ-2. Более медленное снижение гамма-активности имеет место по направлению наблюдательных скважин НБ-3 и НБ-4, т. е. [3,5] по линии, совпадающей с региональным направлением естественного движения подземных вод. Определены эмпирические закономерности изменения гамма- активности по двум направлениям, которые имеют вид:

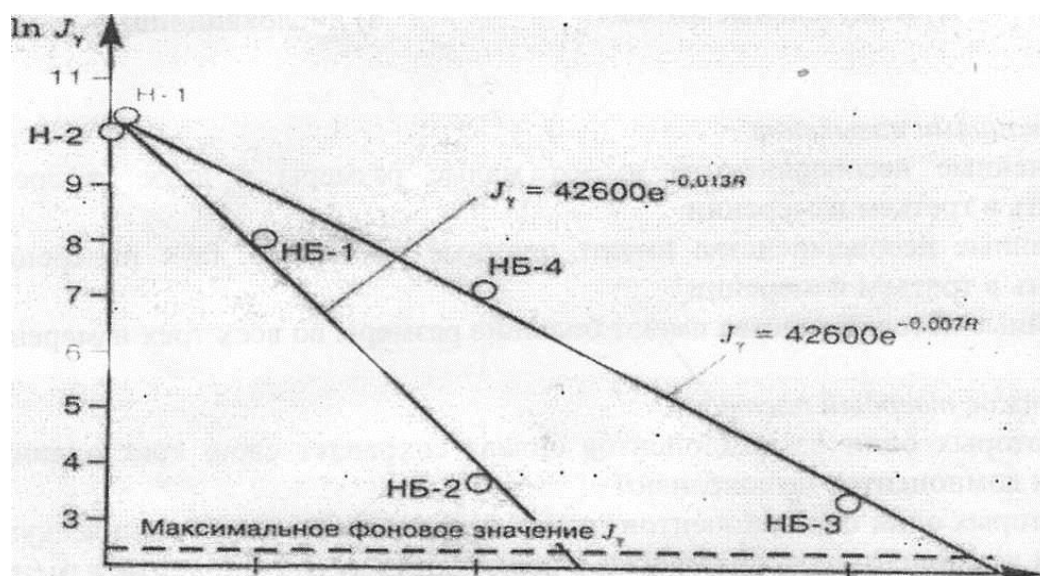


Рис. 3. Изменение максимальных значений экспозиционной дозы гамма-излучения J_γ в зависимости от расстояния R от нагнетательной скважины в интервале рабочего горизонта на объекте «Кама-2».

По линии наблюдательных скважин НБ-1 и НБ-2

$$J_\gamma = 42600e^{-0,013R}; \quad (1)$$

по линии наблюдательных скважин НБ-3 и НБ-4

$$J_\gamma = 42600e^{-0,007R}; \quad (2)$$

где R - расстояние от нагнетательной скважины Н-1.

Используя зависимости (1) и (2), можно сделать оценку, на каком расстоянии от нагнетательной скважины гамма-активность в рабочем пласте приблизится к среднему фоновому значению 5 мкР/ч [7,8,9,10].

Расчеты показывают, что по направлению наблюдательных скважин НБ-1 и НБ-2 это расстояние составит не более 700м, а по направлению наблюдательных скважин. НБ-3 и НБ-4 – около 1300 м [2,3,4].

Так, используя полученные закономерности, можно, например, определить расстояние от нагнетательной скважины, на котором гамма-активность достигает фоновых значений для горных пород, которая в среднем составляет порядка 5 мкР/ч. Используя зависимость (1), получим – $R = 1330$ м.

Интересно отметить, что объект «Кама-2» также, как и аналогичный объект «Кама-1» (вступивший в эксплуатацию позже) можно рассматривать как натурную модель для изучения миграции радионуклидов из подземного хранилища твердых радиоактивных отходов. В данном случае расплавленные горные породы на дне полости и загрязненные обломки пород в столбе обрушения могут рассматриваться как хранилище твердых отходов, а закачиваемая жидкость моделирует возможное движение пластовой жидкости через хранилище, только с большей скоростью, т. е. процесс миграции радионуклидов моделируется во времени.

Необходимо отметить, что полученные данные могут быть использованы для прогнозирования аварийной ситуации при разгерметизации проектируемого подземного хранилища твердых радиоактивных отходов. При этом следует учесть, что естественная скорость движения подземных вод на несколько порядков ниже, чем это имеет место в данном случае.

Использованная литература

1. Алексахин Р.М. Радиоактивное загрязнение почвы и растений. – М.: Изд-во АН СССР, 1963.
2. Атлас «Окружающая среда и здоровья населения России». – М., 1995.
3. Андреев О.С. и др. Природный и обогащенный уран. Радиационно - гигиенические аспекты. М.: Атомиздат, 1979.
4. Бабаев Н.С. и др. Ядерная энергетика, человек и окружающая среда. – М.: Энергоиздат, 1984.
5. Белорусам не нужна украинская радиация. «Российская газета», 29 мая. – М., 2003.

6. Выставка радиационного мониторинга. «Инженерная газета», 4 августа – М., 1991.
7. Булдаков Л.А. Радиоактивные вещества и человек. – М., 1990.
8. Булдаков Л.А. Человек и радиация. Наука и жизнь, №9. – М., 1986.
9. В Гомеле будут лечить от радиации. «Российская газета», 29 апреля. – М., 2003.
10. Булдаков Л.А. Человек и радиация. Наука и жизнь, №9. – М., 1986.