

УДК 621.039.7

ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИИ АКТИВИЗИРУЮЩИХСЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ НА БЕЗОПАСНОСТЬ СИСТЕМЫ ИЗОЛЯЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

© 2023 г. В. И. Мальковский^{1,*}, член-корреспондент РАН В. А. Петров¹, В. А. Минаев¹

Поступило 21.09.2022 г.

После доработки 22.09.2022 г.

Принято к публикации 23.09.2022 г.

Методами математического моделирования оценивается влияние активизации тектонических разломов на безопасность пункта окончательной изоляции высокорadioактивных отходов на участке Енисейский (Красноярский край). Используется трехмерная модель переноса радионуклидов подземными водами с учетом неоднородности фильтрационных свойств пород. Рассматриваются разломы различной ориентации. Показано, что формирование новых или активизация древних субмеридиональных разломов не оказывает существенного влияния на скорость распространения радиоактивного загрязнения в подземной среде. Субширотные разломы могут в большей степени влиять на миграцию радионуклидов. Рассматривается возможность ограничения этого влияния за счет искусственного снижения проницаемости пород на относительно коротком участке зоны разлома.

Ключевые слова: атомная энергетика, высокорadioактивные отходы, окончательная изоляция, тектоническая активность, подземные воды, радионуклиды, миграция

DOI: 10.31857/S268673972260196X, EDN: PDDWWH

В связи с ограничениями на выброс парниковых газов и недостаточной пока еще эффективностью возобновляемых источников энергии атомные электростанции в течение ближайших десятилетий останутся важной составляющей мировой энергетики.

Необходимым условием устойчивого развития атомной энергетики является решение проблемы обращения с радиоактивными отходами. В настоящее время в качестве наиболее перспективного способа изоляции высокорadioактивных отходов (ВАО) от биосферы признано их кондиционирование и размещение в подземных пунктах окончательного захоронения на глубине нескольких сотен метров.

В Российской Федерации рассматривается проект создания пункта глубинного захоронения (ПГЗ) ВАО на участке Енисейский Нижнеканского массива (Красноярский край) [1]. Основным механизмом распространения радиоактивного загрязнения от объекта изоляции ВАО – перенос радионуклидов подземными водами. Если за время прохождения загрязненных подземных вод от

ПГЗ ВАО до биосферы концентрация радионуклидов уменьшится ниже предельно допустимого значения вследствие радиоактивного распада и разбавления, то объект может быть признан экологически безопасным. Поскольку в состав ВАО входят долгоживущие радионуклиды, время их миграции от ПГЗ до биосферы должно иметь порядок не менее 10^3 лет. Обоснованный прогноз такого процесса может быть получен только методами математического моделирования.

Расчеты показали, что при существующих условиях объект изоляции ВАО на участке Енисейский, расположенный на глубине 450–525 м, удовлетворяет приведенному выше условию безопасности [1, 2]. Однако необходимо иметь в виду, что существующие гидрогеологические условия на участке Енисейский могут существенным образом измениться вследствие проявлений тектонической активности. За тысячи лет, необходимые для надежной изоляции ВАО от биосферы, вероятность таких событий следует учитывать даже для сейсмически стабильных регионов [3, 4]. Тем более это справедливо для участка Енисейский, расположенного в районе Нижнеканского массива в зоне активного орогенеза [3–7].

Нижнеканский массив представляет собой сложнопостроенный гранитоидный интрузив, вытянутый в направлении с юго-востока на северо-запад, длиной ~60 км и шириной ~30 км и предпо-

¹Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: malk@igem.ru

лагаемой мощностью 5–8 км [6, 8]. Он расположен в узле сочленения структур древней Сибирской платформы, молодой Западно-Сибирской плиты и Западно-Саянской орогенной области [3, 6–8]. Участок Енисейский расположен у западной границы Нижнеканского гранитоидного массива и вмещающих его докембрийских гнейсов [9].

Наиболее древние тектонические события в районе Нижнеканского массива произошли 2000–1800 млн лет назад [8], далее можно выделить три основных стадии проявлений тектономагматической активности: поздний рифей (940–920 и 750–730 млн лет), ранний венд (600–570 млн лет) и поздний ордовик–ранний девон (450–400 млн лет) [8, 10]. С течением времени происходило заполнение полостей разрывных нарушений кварцем, хлоритом, карбонатом, эпидотом, глинистыми минералами [11]. В связи с этим представляется важным, что тектоническая активизация приводила как к образованию новых, так и к обновлению древних разломов. И новообразованные, и омоложенные на новейшем этапе древние разломы сохраняют активность в течение четвертичного периода [3, 8, 12].

Для прогноза тектонических нарушений пород Нижнеканского массива на участках, рассматриваемых для сооружения ПГЗ ВАО, были использованы методы математического моделирования эволюции напряженно-деформируемых состояний пород массива [4, 13–15]. На основании комплексного анализа геолого-геофизических данных, спутниковых наблюдений за скоростями современных движений земной коры и математического моделирования напряженно-деформируемого состояния пород Нижнеканского массива было установлено, что наиболее вероятными являются тектонические смещения в зонах существующих основных разломов [16].

В неотектонической структуре по берегам Енисея ведущая роль принадлежит субмеридиональным разломам [5, 7, 12], которые в районе участка Енисейский ориентированы приблизительно параллельно береговой линии реки Енисей. Влияние субмеридиональных разломов на распространение радиоактивного загрязнения из ПГЗ ВАО исследовалась в [17] методами математического моделирования. На участке предполагаемого размещения ВАО преобладает нисходящее течение подземных вод, характерное для области питания артезианских бассейнов. Было показано, что субмеридиональный разлом фокусирует нисходящее течение подземных вод. Таким образом, разлом утягивает вглубь загрязненные подземные воды, поступающие из ближнего поля могильника. В результате этого образование нового или активизация древнего субмеридионального разлома ведет либо к незначительному увеличению, либо даже к уменьшению концен-

трации радионуклидов в подземных водах, поступающих в биосферу [17].

Однако наряду с субмеридиональными разломами в 2 км от участка Енисейский локализован и Шумихинский разлом, образование которого обусловлено, вероятно, дорифейской стадией тектонической активности. Этот разлом почти ортогонален береговой линии реки Енисей [3, 16]. Согласно распределению меры геодинамической безопасности в районе участка Енисейский, представленной в [16], велика вероятность активизации Шумихинского разлома в результате эволюции напряженно-деформированного состояния пород участка.

В связи с этим целесообразно оценить, какое влияние субширотный разлом, соответствующий положению Шумихинского разлома, оказывает на распространение радионуклидов из ПГЗ ВАО. Такая оценка была проведена расчетным путем для трехмерной модели.

Введем систему декартовых координат $\{x, y, z\}$, где x направлена с запада на восток, y – с юга на север, z – высота над уровнем моря в Балтийской системе.

Компоненты поля скоростей $\{v_x, v_y, v_z\}$ удовлетворяют закону Дарси [18]

$$\begin{aligned} v_x &= -\frac{f}{\rho g} \frac{\partial p}{\partial x}, & v_y &= -\frac{f}{\rho g} \frac{\partial p}{\partial y}, \\ v_z &= -\frac{f}{\rho g} \left(\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g \right), \end{aligned} \quad (1)$$

где p – давление, ρ – плотность подземных вод, g – ускорение силы тяжести, f – коэффициент фильтрации.

Соленость подземных вод на участке мала [1]. Считая, что ВАО поступают в ПГЗ после достаточно длительной выдержки во временных хранилищах, тепловыделением в отходах в первом приближении можно пренебречь. Таким образом, ρ постоянна, и уравнение для давления запишется в виде

$$(\nabla, f \nabla p) = 0. \quad (2)$$

Границы области моделирования (рис. 1) – региональные водоразделы, ограничивающие область питания участка Енисейский. Следовательно, на них справедливы нулевые условия Неймана

$$(x, y) \in \Gamma, \quad \frac{\partial p}{\partial n} = 0, \quad (3)$$

где Γ – боковая граница области, $\partial p / \partial n$ – нормальная производная.

Область ограничена снизу слабопроницаемыми породами фундамента, следовательно, на нижней границе также можно задать условия

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g. \tag{4}$$

На верхней границе (депрессионная поверхность) справедливы условия Дирихле вида

$$z = z^{wf}(x, y), \quad p = p_a, \tag{5}$$

где $z^{wf}(x, y)$ – локальная высотная отметка депрессионной поверхности.

С учетом тектонической активности коэффициент фильтрации зависит от времени, т.е. $f = f(t, x, y, z)$. Обозначим коэффициент фильтрации в отсутствие возмущений $f_r(x, y, z)$. Тогда

$$f(t, x, y, z) = \begin{cases} f_r(x, y, z), & \text{если } x < x_f \\ \text{или } x > x_f + \delta_f \text{ или } t < t_f; \\ f_{fz}, & \text{если } x_f < x < x_f + \delta_f \text{ и } t > t_f, \end{cases}$$

где $x = x_f$ – восточная граница субмеридионального разлома, δ_f – мощность зоны разлома, t_f – время образования разлома, f_{fz} – коэффициент фильтрации зоны разлома.

В случае субширотного разлома,

$$f(t, x, y, z) = \begin{cases} f_r(x, y, z), & \text{если } y < y_f \\ \text{или } y > y_f + \delta_f \text{ или } t < t_f; \\ f_{fz}, & \text{если } y_f < y < y_f + \delta_f \text{ и } t > t_f, \end{cases}$$

где $y = y_f$ – южная граница зоны разлома.

Методика определения $f_r(x, y, z)$ по имеющимся данным тестовых откачек описана в [19].

Миграция радионуклидов рассматривалась в приближении адвекционно-дисперсионной модели [18]

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \left[1 + \frac{\rho_r K_d (1 - \Phi)}{\Phi} \right] C \right\} + (\vec{V}, \nabla C) = \\ = (\nabla, \mathbf{D} \nabla C) - \kappa \left[1 + \frac{\rho_r K_d (1 - \Phi)}{\Phi} \right] C. \end{aligned} \tag{6}$$

Здесь C – массовая концентрация радионуклида в подземных водах, t – время, ρ_r – плотность пород, K_d – коэффициент распределения радионуклида между породами и подземными водами, Φ – пористость пород, \mathbf{D} – тензор дисперсии, $\vec{V} = \vec{v}/\Phi$, $\kappa = \ln 2/t_{hl}$ (где t_{hl} – период полураспада радионуклида).

Если обозначить координаты x, y, z как x_1, x_2, x_3 , общее выражение компонент тензора дисперсии имеет вид [18]

$$D_{ij} = (\alpha_L - \alpha_T) \frac{v_i v_j}{v} + \delta_{ij} v \alpha_T,$$

где δ_{ij} символ Кронекера, α_L и α_T – линейные коэффициенты дисперсии.

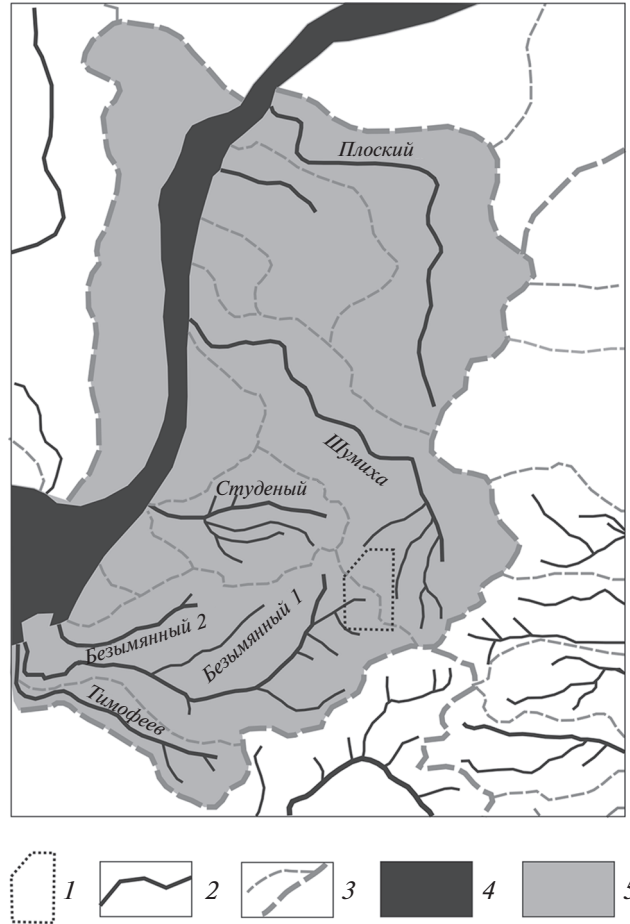


Рис. 1. Область моделирования по [6]. 1 – предполагаемая территория ПГЗ ВАО, 2 – реки и ручьи, 3 – локальные и региональные водоразделы, 4 – пойма Енисея, 5 – область моделирования.

Согласно [20], характерным является отношение коэффициентов дисперсии $\alpha_T/\alpha_L \cong 0.3$. Из натуральных экспериментов следует, что α_L имеют порядок 10 м [21]. Однако это в значительной степени относится к неконсолированным осадочным породам. В плотных кристаллических породах значения α_L, α_T сравнимы по величине и имеют порядок 100–300 м [18]. Поэтому в расчетах принималось $\alpha_L \cong \alpha_T = \alpha = 100$ м.

Коэффициент распределения K_d характеризует задержку миграции радионуклида относительно скорости течения подземных вод. Чем больше K_d , тем меньше отношение скорости миграции радионуклида к скорости течения. Если, наоборот, $K_d = 0$, задержка отсутствует, и скорость миграции радионуклида равна скорости течения. Как показали эксперименты, основная часть актинидов при выщелачивании ВАО может переходить в подземные воды в коллоидной форме [22]. Из экспериментов на образцах пород с участка

следует, что за счет слабой сорбции радиоколлоида на породах скорость актинидов в коллоидной форме может быть приблизительно равна скорости течения [23]. Поэтому в расчетах актиниды рассматривались как нейтральный трассер при $K_d \cong 0$.

Принимались однородные начальные условия для уравнения (5)

$$t = 0, \quad C = 0. \quad (7)$$

Поскольку нормальные составляющие скорости на границах области равны нулю, полагалось, что и дисперсионная составляющая переноса мала, и нормальные составляющие градиента концентрации на границах равны нулю

$$\frac{\partial C}{\partial n} = 0. \quad (8)$$

Следует учитывать, что радионуклиды поступают в подземные воды в результате выщелачивания ВАО. Следовательно, в отличие от задачи гидродинамики для уравнения (6) необходимо задать условия на границе загруженной части ПГЗ. В качестве консервирующей матрицы основной части витрифицированных ВАО в Российской Федерации использовались натрий-алюмофосфатные стекла. Взаимодействие стекла, как и большей части аморфных веществ, с подземными водами может описываться кинетическими соотношениями. Однако содержание Na–Al–P-стекла во временных хранилищах при повышенных температурах и влажности воздуха более 66% может привести к полной раскристаллизации матрицы [22]. В этом случае экстрагирование радионуклидов из ВАО определяется равновесными концентрациями кристаллических фаз матрицы в подземных водах и содержанием радионуклидов в каждой фазе. Следовательно, на границе ПГЗ ВАО можно записать условия Дирихле в виде

$$(x, y, z) \in \Gamma_s, \quad C = C_0 \exp(-\kappa t), \quad (9)$$

где Γ_s – граница загруженной части ПГЗ, C_0 – константа, зависящая от равновесных концентраций кристаллических фаз измененного Na–Al–P-стекла в подземных водах и содержания радионуклида в каждой фазе.

Уравнение (2) при условиях (4)–(5) решалось конечно-разностным методом последовательной верхней релаксации, а уравнение (6) интегрировалось по времени с учетом условий (7)–(9) методом переменных направлений по схеме Дугласа [24]. Расчеты проводились для ^{241}Am – долгоживущего актинида, содержащегося в значительных количествах в радиоактивных отходах, образующихся при использовании PUREX-технологии переработки облученного ядерного топлива.

Результаты численного моделирования показали, что формирование нового или активизация

древнего субмеридионального разлома не приводит к существенному ускорению миграции радионуклида. Разлом фокусирует нисходящий поток регионального течения подземных вод и увлекает загрязненные воды вниз. Вследствие этого время миграции радионуклида от ПГЗ ВАО до биосферы либо незначительно увеличивается, либо даже уменьшается в зависимости от расстояния между разломом и ПГЗ. Это полностью согласуется с результатами, полученными ранее при использовании более простой двумерной профильной модели [17].

Совершенно иные результаты получены в случае субширотно ориентированного разлома. На рис. 2 показано перемещение загрязненных подземных вод в зоне разлома, положение которого приблизительно соответствует древнему Шумихинскому разлому, активизировавшемуся через 1000 лет после загрузки ВАО в ПГЗ ($t_f = 1000$ лет). К моменту активизации разлома край загрязненного объема подземных вод уже достиг его зоны. За счет способности разлома фокусировать течение подземных вод и большей проницаемости пород зона разлома втягивает загрязненные подземные воды и сравнительно быстро переносит их к зоне разгрузки в реку Енисей. Следует, однако, иметь в виду, что концентрация загрязнения при этом существенно снижается, поскольку разлом фокусирует не только загрязненные, но и чистые подземные воды из северо-восточной части области питания рассматриваемого бассейна. Наряду с этим представляется возможным снизить даже эти негативные последствия тектонической активности за счет, например, закачки в зону разлома раствора быстро полимеризующегося вещества, снижающего проницаемость пород на участке закачки. На рис. 3 показано, как изменяется в этом случае характер распространения загрязнения по зоне разлома. Как показывают результаты моделирования, такая защитная мера представляется сравнительно эффективной.

Трехмерное моделирование миграции радионуклидов из подземного объекта изоляции ВАО на участке Енисейский показало, что возникновение новых или активизация древних субмеридиональных тектонических разломов не ведет к значительной интенсификации распространения радиоактивного загрязнения в подземной среде. При некоторых значениях расстояния между разломом и объектом наличие активного субмеридионального разлома может даже несколько замедлить миграцию радионуклидов.

Формирование или активизация субширотных разломов может привести к относительно быстрому (в течение нескольких лет) движению достигших разлома загрязненных подземных вод к зоне их разгрузки в реку Енисей. Однако при

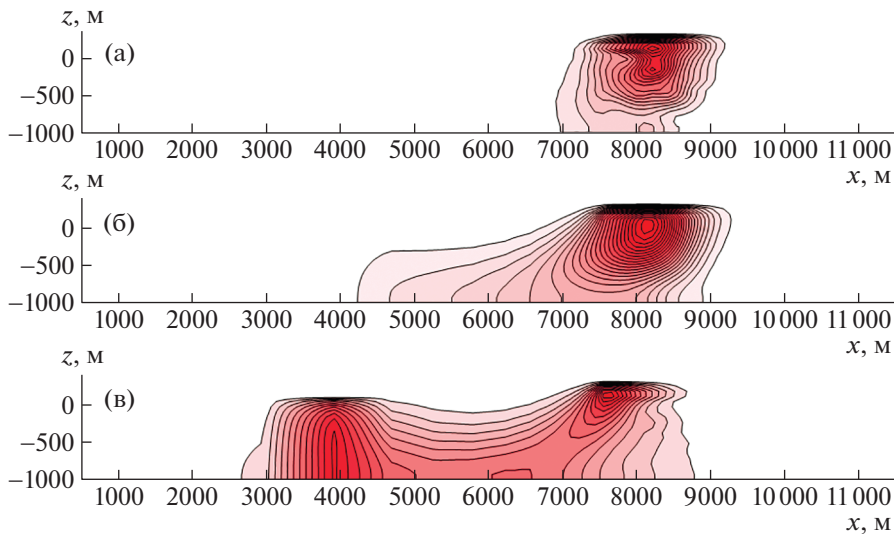


Рис. 2. Движение загрязненных подземных вод в зоне субширотного разлома, активизировавшегося через 1000 лет после загрузки ВАО в подземный объект. Положение разлома приблизительно соответствует средней широтной координате Шумихинского разлома. а – загрязнение в момент активизации разлома; б – загрязнение через год после активизации разлома; в – загрязнение через 2 года после активизации разлома.

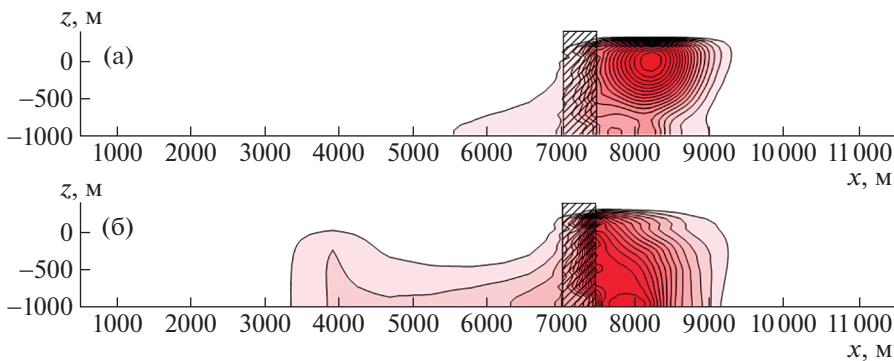


Рис. 3. Движение загрязненных подземных вод в зоне субширотного разлома, активизировавшегося через 1000 лет после загрузки ВАО в подземный объект, в случае закачки полимеризующейся жидкости в зону разлома на одном из участков. Положение разлома приблизительно соответствует средней широтной координате Шумихинского разлома. Начальное положение загрязнения в момент активизации разлома показано на рис. 2 а; а – загрязнение через год после активизации разлома; б – загрязнение через 2 года после активизации разлома.

этом происходит существенное их разбавление чистыми подземными водами, поступающими в разлом из северо-восточной части области питания, ограниченной региональными водоразделами.

Следует отметить, что при моделировании рассматривался наименее благоприятный случай, когда радионуклид является нейтральным трассером, т.е. его задержка за счет сорбции на вмещающих породах полностью отсутствует. В действительности распространение радиоактивного загрязнения в подземной среде будет

происходить значительно медленнее, так как скорость миграции радионуклидов в ионной форме существенно уменьшится за счет сорбции на породах, а их перенос в высокоподвижной коллоидной форме будет ограничен механической задержкой радиоколлоида в порово-трещинных каналах пород.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена по совместному проекту РФФИ № 20-55-12009 и DFG INFRA (NA1528/2-1, MA4450/5-1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кочкин Б.Т., Мальковский В.И., Юдинцев С.В.* Научные основы оценки безопасности геологической изоляции долгоживущих радиоактивных отходов (Енисейский проект). М.: ИГЕМ РАН, 2017. 384 с.
2. *Кочкин Б.Т., Мальковский В.И.* Количественная оценка долгосрочной эволюции условий миграции радионуклидов из могильника на участке Енисейский (Красноярский край) // *Геоэкология*. 2016. № 5. С. 401–411.
3. *Katnev E.N., Morozov V.N., Tatarinov V.N., Kaftan V.I.* Geodynamic aspects of investigation s in underground research laboratory (Nizhnekansk massif) // *Eurasian Mining*. 2018. No 2. P. 11–14.
4. *Татаринов В.Н., Морозов В.Н., Колесников И.Ю. и др.* Устойчивость геологической среды как основа подземной безопасной подземной изоляции радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива // *Надежность и безопасность энергетики*. 2014. № 1. С. 25–29.
5. *Лобацкая Р.М.* Неотектоническая разломно-блоковая структура зоны сочленения Сибирской платформы и Западно-Сибирской плиты // *Геология и геофизика*. 2005. Т. 46. № 2. С. 141–150.
6. *Татаринов В.Н., Морозов В.Н., Кафтан А.И., Маневич А.И.* Современная геодинамика южной части Енисейского кряжа по результатам спутниковых наблюдений // *Геофизические исследования*. 2018. Т. 19. № 4. С. 64–79.
7. *Tatarinov V.N., Kaftan V.I., Seelev I.N.* Study of the present-day geodynamics of the Nizhnekansk massif for safe disposal of radioactive wastes // *Atomic Energy*. 2017. V. 121. No 3. P. 203–207.
8. *Белов С.В., Морозов В.Н., Татаринов В.Н. и др.* Изучение строения и геодинамической эволюции Нижнеканского массива в связи с захоронением высокоактивных радиоактивных отходов // *Геоэкология*. 2007. № 3. С. 248–266.
9. *Морозов В.Н., Татаринов В.Н., Кафтан В.И., Маневич А.И.* Подземная исследовательская лаборатория: геодинамические и сейсмотектонические аспекты безопасности // *Радиоактивные отходы*. 2018. № 3. С. 16–29.
10. *Морозов В.Н., Расторгуев А.В., Неуважаев Г.Д.* Оценка состояния геологической среды участка Енисейский (Красноярский край) // *Радиоактивные отходы*. 2019. № 4. С. 46–62.
11. *Петров В.А., Полуэктов В.В., Хаммер Й.Р., Цулауф Г.* Исследование минеральных и деформационных преобразований горных пород Нижнеканского массива в целях определения их удерживающей способности при геологическом захоронении и изоляции радиоактивных отходов // *Горный журнал*. 2015. № 10. С. 67–77.
12. *Лукина Н.В.* Активные разломы зоны сочленения Сибирской платформы и Алтае-Саянской орогенной области // *Бюлл. Моск. общ. испытателей природы. Отд. геол.* 1996. Т. 71. Вып. 5. С. 25–32.
13. *Морозов В.Н., Колесников И.Ю., Белов С.В., Татаринов В.Н.* Напряженно-деформируемое состояние Нижнеканского гранитоидного массива – района возможного захоронения радиоактивных отходов // *Геоэкология*. 2008. № 3. С. 232–243.
14. *Морозов В.Н., Колесников И.Ю., Татаринов В.Н.* Моделирование уровней опасности напряженно-деформированного состояния в структурных блоках Нижнеканского гранитоидного массива (к выбору участков захоронения радиоактивных отходов) // *Геоэкология*. 2011. № 6. С. 524–542.
15. *Татаринов В.Н., Морозов В.Н., Каган А.И.* Моделирование напряжений и направлений фильтрации подземных вод при выборе участков для подземной изоляции радиоактивных отходов // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2014. № 6. С. 243–249.
16. *Гвишиани А.Д., Татаринов В.Н., Кафтан В.И. и др.* ГИС-ориентированная база данных для системного анализа и прогноза геодинамической устойчивости Нижне-Канского массива // *Исследования Земли из космоса*. 2021. № 1. С. 53–66.
17. *Мальковский В.И.* Оценка тектонического воздействия на изоляцию радиоактивных отходов в подземных хранилищах // *Атомная энергия*. 2021. Т. 130. № 3. С. 158–164.
18. *de Marsily G.* Quantitative hydrogeology. Orlando, Florida: Academic Press, 1986. 440 p.
19. *Мальковский В.И., Озерский А.Ю.* Стохастическая фильтрационная модель вмещающих пород подземного хранилища радиоактивных отходов по данным пакерных тестов // *Материалы 15-й Международ. конф. “Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле” (Москва, 29 сентября–1 октября. 2014)*. М.: ИГЕМ РАН. 2014. С. 159–162.
20. *Freeze R.A., Cherry J.A.* Groundwater. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1979. 604 p.
21. *Фрид Ж.* Загрязнение подземных вод / Пер. с англ. под ред. Мироненко В.А., Рошала А.А. М.: Недра, 1981. 304 с.
22. *Malkovsky V.I., Yudinsev S.V., Aleksandora E.V.* Influence of Na-Al-Fe-P glass alteration in hot non-saturated vapor on leaching of vitrified radioactive wastes in water // *Journal of Nuclear Materials*. 2018. V. 518. P. 212–218.
23. *Мальковский В.И., Юдинцев С.В., Александрова Е.В.* Выщелачивание имитаторов радиоактивных отходов из стеклообразной матрицы и изучение миграции продуктов выщелачивания в гнейсах // *Радиохимия*. 2018. Т. 60. № 6. С. 551–557.
24. *Роуч П.* Вычислительная гидродинамика. М.: Мир, 1980. 616 с.

INFLUENCE OF ORIENTATION OF ACTIVATING TECTONIC FAULTS ON SAFETY OF A SYSTEM OF ISOLATION OF RADIOACTIVE WASTE

V. I. Malkovsky^{a,#}, Corresponding Member of the RAS V. A. Petrov^a, and V. A. Minaev^a

^a*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry of Russian Academy of sciences, Moscow, Russian Federation*

[#]*E-mail: malk@igem.ru*

Methods of mathematical modeling were used for estimating an influence of tectonic faults activation of safety of a facility for final isolation of high-level radioactive waste at the site Yeniseiskiy (Krasnoyarsk region) by methods of mathematical modeling. A 3–D model of radionuclides transport by groundwater was considered taking into account a heterogeneity of rock permeability. Faults of different orientation were considered. We showed that a formation of new near-meridional faults or an activation of ancient ones did not exert a substantial influence on velocity of radioactive pollution propagation in underground medium. Near-latitudinal faults can affect the radionuclides to a more extent. We considered a possibility to confine this influence due to a technogeneouse decrease of rock permeability within a relatively short interval of the fault zone.

Keywords: nuclear power engineering, high-level radioactive waste, final isolation, tectonic activity, groundwater, radionuclides, migration