**Вестник НЯЦ РК** выпуск 2, июнь 2019

УДК 621.039.75

# СИСТЕМНАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ УСТОЙЧИВОСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИ ЗАХОРОНЕНИИ ВЫСОКОАКТИВНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

# Гвишиани А.Д., Татаринов В.Н.

### Геофизический центр РАН, Москва, Россия

Рассмотрены методологические аспекты системного подхода к решению проблемы прогноза геодинамической устойчивости геологической среды при подземной изоляции радиоактивных отходов в геологических формациях. Системный подход выступает как способ организации научных исследований и является не только методом решения проблемы, но и методом постановки задач. Он особенно важен на первом этапе сбора и систематизации разноплановых геолого-геофизических данных. Системный подход помогает сосредоточить усилия на выявлении фундаментальных закономерностей в тектоническом строении и геодинамическом режиме развития региона, которые определяют сохранность изоляционных свойств геологической среды на весь срок радиобиологической опасности радиоактивных отходов.

Обоснование пригодности геологической среды для подземной изоляции высокоактивных радиоактивных отходов (РАО) – важнейшая экологическая проблема, стоящая перед Россией и другими развитыми странами, использующими ядерные технологии. За период интенсивного развития атомной промышленности в России накоплен огромный объем радиоактивных отходов РАО активностью более 5,9×10 млрд. Кюри. Для их удаления из среды обитания человека было принято решение о создании пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов (ПГЗРО) в Красноярском крае (Нижнеканский массив). В 2019 г. начинается строительство подземной исследовательской лаборатории (ПИЛ) для подтверждения безопасности подземной изоляции радиоактивных отходов 1 и 2 классов.

Главный принцип геоэкологической безопасности ПГЗРО — обеспечение сохранности изоляционных свойств пород структурно-тектонического блока (СТБ), вмещающего ПГЗРО, на весь срок радиобиологической опасности РАО, который превышает 10 тыс. лет. Изоляционные свойства СТБ определяются комплексом тектонических, гравитационных и техногенных полей напряжений, которые в зависимости от прочностных свойств массива горных пород влияют на структурную нарушенность среды.

Для описания взаимодействия геологической среды и инженерных объектов широко применяется понятие «устойчивость геологической среды». В приложении к проблеме подземной изоляции высокоактивных РАО нами введен термин — «устойчивость структурно-тектонического блока» [3, 4] под которым понимается его способность при природных и техногенных воздействиях сохранять или изменять свои свойства и состояние в таком диапазоне, который не приведет к потере изоляционных свойств породного массива и выходу радионуклидов за его пределы на весь период радиобиологической опасности РАО.

Под научно-методическим руководством ИБРАЭ РАН в 2018 г. был подготовлен «Стратегический ма-

стер-план исследований в обоснование безопасности сооружения...» [5] и утверждена «Стратегия создания пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов» [12]. Разработка документов и Программы исследований в ПИЛ выявили целый ряд существенных пробелов и неопределенностей в информации о геологической среде, которая необходима, согласно существующим нормативным документам. Например, глубокие скважины на участке Енисейский были пройдены за пределами структурного тектонического блока, в котором запланировано размещение ПГЗРО. Отсутствует описание керна скважин, нет достоверной геологической карты земной поверхности масштаба 1:2000. Кроме этого, часть экспериментального материала, в частности, данных геофизического изучения участка Енисейский, была утеряна и т.д. Для ликвидации этих пробелов необходимы дополнительные финансовые ресурсы и время.

Системная оценка факторов, определяющих длительную устойчивость геологической среды, помогает избежать подобных ошибок как на начальной стадии сбора данных, так и на последующих этапах, включая обоснование комплекса инструментальных наблюдений в выработках ПИЛ. В связи с этим для системного анализа информации был разработан холистический подход (оценка свойств системы в целом с последующим изучением при необходимости ее частей), определяющей пригодность структурного тектонического блока для захоронения высокоактивных РАО.

Этот подход основан на изучении геологической среды как системы, учитывающей составляющие любого материального объекта — элемент, связь, взаимодействие, а также влияние внешней среды (рисунок 1) [9, 15].

При оценке устойчивости необходимо учитывать состояние и взаимодействие двух систем — сам объект и вмещающую его среду. В соответствии с главным принципом системного подхода — иерархичностью (под которой понимается наличие множества элементов, расположенных на основе подчинения

элементов низшего уровня элементам высшего уровня), тип объекта, время эксплуатации и геометрические размеры определяют пространственно-временные параметры среды, которые должны быть исследованы [9].



Рисунок 1. Схема компонентов системы «Геологическая среда»

В соответствии с другим методологическим принципом – поиском «слабого звена», мы рассматриваем только те параметры, которые оказывают решающее влияние на геодинамическую устойчивость структурного блока, интегрируя в себе различные виды воздействий [10]. Например, для ПГЗРО наиболее важными факторами являются современные движения земной коры, скорости деформаций и напряжения, структурная нарушенность и упруго-прочностные свойства горных пород.

При этом возникает вопрос о возможности или невозможности прогнозирования траекторий развития нелинейных геодинамических систем. В основе представлений о нелинейных системах лежат положения [11] о нестабильности процессов, протекающих в открытых для энерго- и массобмена системах. Существенный вклад в понимание нелинейности процессов в геологической среде внес академик М.А. Садовский. Главная идея, изложенная в его трудах, заключается в том, что нелинейность — это фундаментальное свойство горных пород. Модель «геофизической среды», используемая при математическом моделировании, базируется на следующих положениях:

- 1) среда состоит из иерархической последовательности блоков, прочность которых значительно больше разделяющих их прослоек;
- 2) структурные блоки в различной степени «насыщены» энергией, поступающей из внешних сис-

тем. Достигнув неустойчивого состояния, некоторые блоки «сбрасывают» энергию, вызывая деформирование среды в асейсмичных районах или ее разрушение в сейсмических областях;

- 3) деформирование сопровождается образованием в геологической среде пространственных структур, которые можно рассматривать как самоорганизацию среды, служащую для трансформации энергии:
- 4) накапливаемая потенциальная энергия в структурных объемах среды диссипируется, в основном, на иерархической системе поверхностей (границы блоков, земная поверхность, обнажения горных выработок и др.).

Общая методология прогноза устойчивости районов подземной изоляции PAO основана на двух фундаментальных тезисах:

- 1 геологическая среда это *динамическая активная система*, имеющая внутренние и внешние геодинамические источники дестабилизации;
- 2 геологическая среда *иерархически устроена и пространственно структурирована*; накапливаемая в среде потенциальная энергия диссипируется в основном на иерархической системе трещин.

Исходя из этого, представляется необходимым на начальной стадии выбора района для захоронения РАО с позиций определения его устойчивости решить 3 основные задачи:

- а) изучить структурную нарушенность, блочность, анизотропию, дислоцированность и упругие свойства породного массива;
- б) исследовать закономерности распределения и изменения во времени полей напряжений;
- в) дифференцировать территории по степени кинематической подвижности структурно-тектонических блоков на основе методов космической геодезии.

Методология системного подхода к анализу информации, например, по Квейду [7], включает в себя составляющие, которые, по сути, представляют собой последовательные этапы НИР при выборе мест захоронения РАО:

- 1. Задачи определение проблемы, выявление целей и определение границ решения.
- 2. Поиск создание баз данных и определение средств достижения целей.
- 3. Толкование построение моделей, их использование и анализ.
- 4. Реализация агрегирование наиболее вероятной альтернативы или курса действий.
- 5. Подтверждение экспериментальная проверка решений.

На рисунке 2 представлена схема, которая детально описывает системно-аналитический подход, разработанный в рамках проекта РНФ № 18-17-00241 и представляющий собой упорядоченный по времени пошаговый анализ устойчивости структурного блока, вмещающего ПГЗРО.

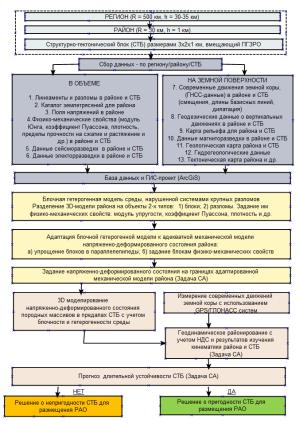


Рисунок 2. Схема системного анализа (CA) геологогеофизических данных в приложении к прогнозу устойчивости структурно-тектонического блока на основе холистического подхода

В основе прогноза лежит многокомпонентная *структурно-тектоническая модель* объекта исследования, основное назначение которой – выделение структурных элементов среды и прогноз их эволюции под воздействием меняющихся во времени полей напряжений. Структурно-тектоническая модель создается на основе использования существующих геологических, геофизических и геоморфологических методов выделения структур и изучения современных движений земной коры (СДЗК), картографический метод, включая дешифрирование аэро- и космоснимков, тектонофизический, орографический, морфометрический, изучение поверхностей выравнивания и другой информации.

Модель реконструкции тектонического режима территории необходима для задания граничных напряжений в математических моделях. Поле тектонических напряжений изменяется в пространстве и времени, часто сохраняя унаследованные тенденции предшествующего периода развития, индикатором которых являются структурно-тектоническая нарушенность и геоморфологические характеристики. Из теории анализа временных рядов известно, что при решении задач подобного рода длина временного ряда, на основе которого проводится экстраполяция, должна в 3...5 раз превышать временной интервал прогноза.

При идентификации разновозрастных геодинамических режимов принимается во внимание вся совокупность тектонических элементов и структурных парагенезисов в структурных блоках, возникавших в разные этапы проявления тектонических деформаций. Наиболее стабильную тектонофизическую обстановку имеют те блоки, где современное поле тектонических напряжений характеризуется низкими абсолютными значениями главных нормальных и касательных (скалывающих) напряжений при минимальных скоростях вертикальных движений поверхности.

На основе структурных моделей и моделей тектонического режима задаются граничные условия для расчетов напряженно-деформированного состояния среды, которые позволяют выделить участки с максимальными значениями интенсивности напряжений  $\sigma_i$  и их сдвиговой компоненты  $\tau_{xy}$  как вероятных мест разрушения породных массивов. Оценка устойчивости структурных блоков основана на сопоставлении вычисленных значений  $\sigma_i$  и  $\tau_{xy}$  с прочностными критериями. Критериями выделения потенциально неустойчивых геодинамических зон могут быть превышения интенсивности напряжений прочностных пределов пород и участки максимальных градиентов интенсивности напряжений. В качестве прочностного критерия для структурного блока может использоваться энергетическое предположение: разрушение структурных блоков происходит тогда, когда их потенциальная энергия формоизменения (деформирования) достигает определенного предела. Отсюда, оценивать потенциальную энергию среды можно по величине  $\sigma_i$  как меры устойчивости [1].

Источником проверки прогнозных моделей являются инструментальные методы. В ряде случаев только методы космической геодезии, основанные на применении спутниковых систем GPS/ГЛОНАСС, позволяют выявить закономерности в пространственно-временном изменении деформационных полей на локальных геодинамических полигонах размерами от 10 до 100 км [6, 13, 14].

Не имея возможности в рамках данной статьи проиллюстрировать все этапы работ, представленные на рисунке 2, остановимся на одном примере – поиске структурных неоднородностей по данным анализа карты аэромагнитной съемки масштаба 1:200 000 [1, 3]. Аномальная составляющая магнитного поля Земли, полученная как разность наблюденной напряженности магнитного поля  $T_{\text{набл}}$  и напряженности нормального магнитного поля Земли  $T_{M\Pi 3}$ :  $\Delta T = T_{\text{набл}} - T_{MII3}$ , отражает ряд глубинных неоднородностей (литологические границы, магматические структуры, дайки, разломную тектонику и др.). Получение сведений о гранитном массиве связано с жилами роговообманковых порфиритов, содержащими до 3 % магнетита и ильменита, а также с гиперстеновыми гнейсами. Перекрывающие осадочные породы практически немагнитны, поэтому положение верхних кромок аномалеобразующих объектов является маркером поверхности пород кристаллического основания.

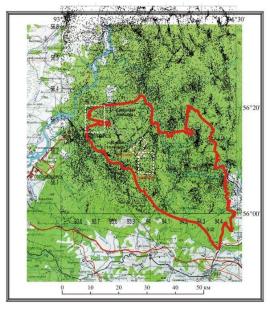


Рисунок 3. Результаты интерпретации аномального магнитного поля: множество эквивалентных дипольных источников, полученное на основе метода деконволюции Эйлера для Нижнеканского массива

Помимо положения особых точек, маркирующих кровлю, во многих случаях может быть установлено положение особых точек, связанных с центрами магнитных масс локализованных объектов. Такие точки трассируют объекты, которые могут быть физически отождествлены с жилами порфиритов или высокомагнитными гнейсами в составе кристаллического основания. Для определения положения особых точек использованы методы, основанные на кластерном анализе положения эквивалентных источников, получаемых из локальной линейной псевдоинверсии (метод деконволюции Эйлера). Для анализа использованы алгоритмы кластерного анализа RODIN и КРИСТАЛЛ, разработанные в ГЦ РАН под руководством акад. А.Д. Гвишиани на основе принципов нечеткой логики [2].

Интерпретация ведется в три этапа. Сначала вычисляются значения аномалий  $\Delta T$  и их производных в узлах регулярной сетки. Для этого применяется специальная модификация метода истокообразных аппроксимаций, адаптированная к особенностям аномальных магнитных полей. Дальнейшая интерпретация основана на предположении о гармоничности поля аномалий  $\Delta T$ , что верно лишь приближённо в случае малых амплитуд аномалий. Поэтому на первом этапе также выполняется соответствующая коррекция, которая позволяет восстановить "гармонический компонент"  $\Delta T_0$ , равный величине проекции вектора аномального поля на направление нормального поля. Затем определяются положения множества эк-

вивалентных дипольных источников, каждый из которых аппроксимирует наблюденное поле в окне, перемещаемом последовательно по профилям. На рисунке 3 приведено положение множества эквивалентных источников, полученное на основе метода деконволюции Эйлера.

На следующем этапе проводится кластеризация множества источников с целью выделения плотных скоплений, отвечающих центрам магнитных масс. Для этого использован метод разбраковки множества эквивалентных источников, основанный на принципах искусственного интеллекта. Использовано представление о том, что эквивалентные источники, происходящие из скользящих окон, в которых доминирует влияние одной и той же особой точки поля объектов (для эквивалентных диполей - центра магнитных масс), должны формировать плотные скопления вблизи положения соответствующих особых точек. Те же решения, которые происходят из скользящих окон, где аномальное поле не может быть описано посредством простейшей модели поля точечного источника, случайным образом рассеяны в пространст-

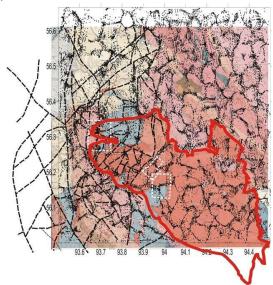
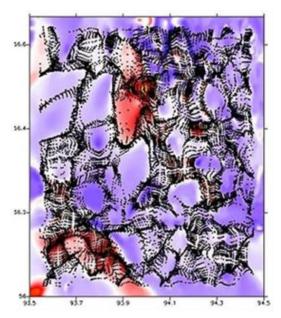


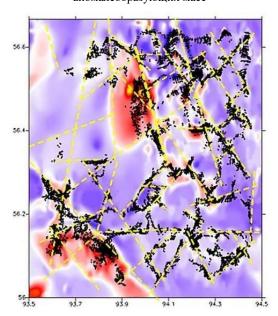
Рисунок 4. Результаты интерпретации аномального магнитного поля: положения особых точек, полученные методом линейной псевдоинверсии после применения алгоритмов RODIN и КРИСТАЛЛ для n = 0,5 и палетки 7 с геологической основой и разломами (показано пунктиром) по данным Лобацкой Р.М. [8]

Для определения глубины верхних кромок аномалий использована величина структурного индекса n=0,5. Методом линейной псевдоинверсии получено 25371 оценок положения особых точек. После кластерного анализа выделено 16183 точки, образующие плотные скопления. Глубины этих точек были интерполированы с использованием метода оптимальной интерполяции («крайгинга») на равномерную сетку с шагом  $1 \, \mathrm{km}$ . Получившаяся карта оценки глубины кровли кристаллических пород основания показана на рисунке  $4 \, [1, 2]$ . Для определения положения цен-

тров магнитных масс аномалообразующих объектов использовалось положение особых точек при значении структурного индекса n=3,0. Из общего количества решений — 24903 в результате кластерного анализа было отобрано 15864 точки, образующих плотные скопления.



а) аномалии связаны с кровлей аномалеобразующих масс



б) аномалии связаны с центром аномалеобразующих масс

Красный цвет – прогнозное положение зоны глубинной аномалии; желтый пунктир – возможная линейная геодинамическая зона

Рисунок 5. Расположение всех аномалеобразующих источников, связанных с кровлей и с центром аномалеобразующих масс, и прогнозная схема положения зон глубинных аномалий и возможных линейных геодинамических зон [1]

На рисунке 5 красным цветом выделены зоны глубинных аномалеобразующих объектов, которые могут быть связаны с глубинными зонами нарушений фундамента. Выделяются две крупные зоны по северному и южному контуру массива. Южная зона связана с сочленением Муратовского и 1-го и 2-го Красноярских разломов. Положение линейных геодинамических зон на рисунке 5-б получено по двум признакам. Во-первых, они являются кромками намагниченных блоков пород основания, а потому связаны с положением особых точек аномального поля  $\Delta T$ , и их простирание можно определить, трассируя положение особых точек, маркирующих верхние кромки. Во-вторых, если эти зоны разломов, по которым в прошлом происходили движения сбросового и взбросового типов, выражаются в резком изменении глубины поверхности кристаллических пород, их положение может быть дешифрировано по градиентам глубин поверхности фундамента.

Отмечается хорошая согласованность генерального направления линейных геодинамических зон (рисунок 5-б) трех направлений – запад-восток, северо-запад – юго-восток и северо-восток – юго-запад. Это коррелирует с директивными направлениями изгибов русла р. Енисей. Необходимо отметить, что около 30 % линейных зон не связано с геологическими данными. Поэтому это могут быть: а) зоны сильномагнитных пород, возникшие при образовании НКМ; б) залеченные зоны трещиноватости, разломов и контактов с интрузивными телами; в) тектонические нарушения, не обнаруженные ранее. Потому, при выборе участка для захоронения РАО необходима проверка полученных аномалий детальными геолого-геофизическими работами.

Было также установлено, что в строении массива преобладают изометричные структурные блоки с размерами в диапазоне 5–10 км. На рисунке 6 показана гистограмма распределения их размеров, полученных из анализа результатов интерпретации данных аэромагнитной съемки.

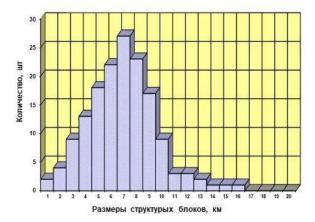
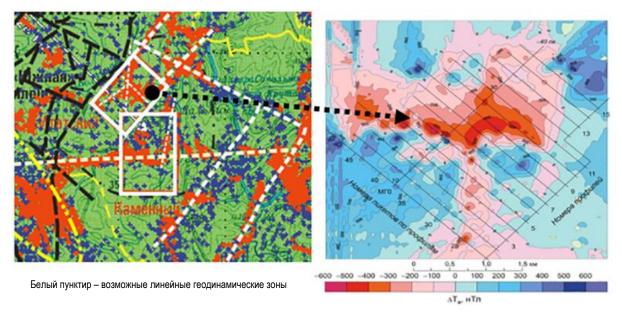


Рисунок 6. Гистограмма размеров структурных блоков НКМ по результатам обработки аномального магнитного поля в пределах района исследования [1]



а) аэромагнитная съемка, участки Итатский и Каменный

б) наземная магнитная съемка, участок Итатский

Рисунок 7. Укрупненный фрагмент интерпретации данных аэромагнитной съемки (участки Итатский и Каменный) и результаты наземной магнитной съемки масштаба 1:25 000 (участок Итатский)

Как следует из рисунка 6, средний размер блоков составляет 7 км, около 80 % структурных блоков имеют размеры в диапазоне от 4 до 10 км. Этот результат можно использовать в тектонофизических построениях при прогнозе сейсмической опасности района. На рисунке 7 приведены укрупненный фрагмент интерпретации данных аэромагнитной съемки (участки Итатский и Каменный) и данные наземной магнитной съемки масштаба 1:25 000 (участок Итатский). Видно совпадение простирания аномалий, что подтверждает достоверность выполненной обработки карты аэромагнитной съемки масштаба 1: 200 000.

Таким образом, системный подход помогает получить дополнительные знания о геологической среде, его качественной определённости, закономерностях существования, механизмах взаимодействия элементов, характере и содержании их связей и отно-

шений. При исследовании конкретных процессов и явлений он собирает в себя методологические уровни и соединяет в себе понятийно-категориальный аппарат целого ряда научных дисциплин в области наук о Земле. Только таким образом можно решить сложнейшую задачу обеспечения геоэкологической безопасности подземной изоляции РАО в условиях объективно существующей неопределенности исходной информации.

**Благодарность.** Авторы благодарны своим коллегам С.М. Агаяну, Ш.Р. Богоутдинову, В.Н. Морозову, результаты исследований которых использованы в статье.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 18-17-00241).

### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Андерсон, Е.Б. Подземная изоляция радиоактивных отходов / Е.Б. Андерсон, С.В. Белов, Е.Н. Камне, И.Ю. Колесников, Н.Ф. Лобанов, В.Н. Морозов, В.Н. Татаринов. М.: Издательство «Горная книга», 2011. 592 с.
- Гвишиани, А.Д. Алгоритмы искусственного интеллекта для кластеризации магнитных аномалий / А.Д. Гвишиани, М. Диаман, В.О. Михайлов, А. Гальдеано, С.М. Агаян, Ш. Р. Богоутдинов, Е.М. Граева // Физика Земли. – 2002. – № 7. – С. 13–28.
- 3. Гвишиани, А.Д., Методы искусственного интеллекта при оценке тектонической стабильности Нижнеканского массива / А.Д. Гвишиани, С.В. Белов, С.М. Агаян, М.В. Родкин, В.Н. Морозов, В.Н. Татаринов, Ш.Р. Богоутдинов // Инженерная экология. − 2008. − № 2. − С. 3–14.
- 4. Гвишиани, А.Д. Системный анализ в горных науках и уменьшении природного ущерба / А.Д. Гвишиани, Л.А. Вайсберг, В.Н. Татаринов, А.И. Маневич // Системный анализ: моделирование и управление: Материалы международной конференции, посвященной памяти академика А.В. Кряжимского. М.: Математический институт им. В.А. Стеклова РАН. 2018. С. 43–45.
- 5. Дорофеев, А.Н. Стратегический мастер-план исследований в обоснование безопасности сооружения, эксплуатации и закрытия пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов / А.Н. Дорофеев, Л.А. Большов, И.И. Линге, С.С. Уткин, Е.А. Савельева // Радиоактивные отходы. 2017. №1. С. 33—42.

# СИСТЕМНАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ УСТОЙЧИВОСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИ ЗАХОРОНЕНИИ ВЫСОКОАКТИВНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

- Кафтан, В.И. Методика и результаты определения движений и деформаций земной коры по данным ГНСС на геодинамическом полигоне в районе захоронения радиоактивных отходов / В.И. Кафтан, А.Д. Гвишиани, В.Н. Морозов, В.Н. Татаринов // Современные проблемы дистанционного зондирования из космоса. – 2019. – №1. – С.83–94. – С. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-83-94.
- 7. Квейд, Э. Анализ сложных систем / Под ред. И. И. Андреева, И. М. Верещагина. М.: Советское радио. 1969. 520 с.
- 8. Лобацкая, Р.М. Неотектоническая разломно-блоковая структура зоны сочленения Сибирской платформы и Западно-Сибирской плиты / Р.М. Лобацкая // Геология и геофизика. - 2005. – т. 46, № 2. – С. 141–150.
- 9. Морозов, В.Н. Методика выбора участков земной коры для размещения экологически опасных отходов / В.Н. Морозов, В.Н. Татаринов // Геоэкология. 1996. № 6. С. 109–120.
- 10. Морозов, В.Н. Прогнозирование устойчивости геологической среды при выборе мест размещения и эксплуатации объектов ядерного топливного цикла / В.Н. Морозов, В.Н. Татаринов // Инженерная экология. 2008. №5. С. 10–16.
- 11. Пригожин, И. Введение в термодинамику необратимых процессов / И. Пригожин // М.: ИЛ. 1960. 150 с.
- 12. Стратегия создания пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов // Радиоактивные отходы. 2018. № 2 (3). С. 114–120.
- 13. Татаринов, В.Н. Геодинамическая безопасность на объектах ядерного топливного цикла / В.Н. Татаринов // Использование и охрана природных ресурсов в России // Бюллетень. 2006. № 1 (85). С. 46—51.
- 14. Татаринов, В.Н. Современная геодинамика южной части Енисейского кряжа по данным ГНСС наблюдений / В.Н. Татаринов, В.Н. Морозов, В.И. Кафтан, А.И. Маневич // Геофизические исследования. 2018. том 19, № 4. С. 64–79. [электронный ресурс], режим доступа: https://doi.org/10.21455/gr2018.4-5.
- 15. Чернышев, В.Н. Теория систем и системный анализ / В.Н. Чернышев, А.В. Чернышев. Тамбов: Из-во ТГТУ, 2008. 96 с.

## АСА БЕЛСЕНДІ РАДИОАКТИВТІ ҚАЛДЫҚТАРДЫ КӨМУ КЕЗІНДЕ ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ОРТАНЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН АНЫҚТАЙТЫН ФАКТОРЛАРДЫ ЖҮЙЕЛІК БАҒАЛАУ

#### А.Д. Гвишиани, В.Н. Татаринов

PFA Геофизикалық орталығы, Мәскеу, Ресей PFA О.Ю. Шмидт атындағы Жер физикасы институты, Мәскеу, Ресей

Геологиялық формациялардағы радиоактивті қалдықтарды жесасты оқшаула кезінде геологиялық ортаның геодинамикалық тұрақтылығын болжау проблемасын шешу жүйелік тәсілдеменің әдіснамалық негіздері қарастырылды. Жүйелік тәсілдеме ғылыми зерттеулерді ұйымдастыру тәсілі ретінде қолданылады және де тек қана проблеманы шешу әдісі болып қана қоймай сондай-ақ міндеттерді қою әдісі де болып табылады. Ол аралас-кұралас геологиялық-геофизикалық деректерді жинау және жүйелендірудің бірінші кезеңінде аса маңызды. Жүйелік тәсілдеме аймақтың дамуының геодинамикалық режимінде және радиоактивті қалдықтардың радиобиологиялық қауіпінің барлық мерзіміне геологиялық ортаның оқшаулағыш қасиеттерін сақтауды белгілейтін және тектоникалық құрылымдағы іргелі заңдылықтарды анықтауға күшті жинақтап жұмылдыруға көмектеседі.

# SYSTEM ESTIMATION OF FACTORS DETERMINING THE STABILITY OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT WHEN DISPOSAL HIGHT-LEVEL RADIOACTIVE WASTES

### D. Gvishiani, V.N. Tatarinov

### Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

The methodological aspects of a systematic approach to solving the problem of predicting the long-term geodynamic stability of the geological environment during underground isolation of radioactive waste in geological formations are discussed. The system approach acts as a way of organizing scientific research and is not so much a method of solving, as a method of setting tasks. It is especially important at the first stage of collecting and systematizing data on the study area. It also helps to focus efforts on identifying the fundamental laws of geodynamic development of the region, which determine the preservation of the insulating properties of rocks for a long time.

The methodological aspects of a systematic approach to solving the problem of predicting the geodynamic stability of the geological environment during underground isolation of height-level radioactive waste in geological formations are considered. The systems approach acts as a way of organizing scientific research and is not only a method for solving a problem, but also a method of setting tasks. It is especially important at the first stage of collecting and systematizing diverse geological and geophysical data. The systems approach helps to focus efforts on identifying the fundamental patterns in the tectonic structure and geodynamic patterns of development of the region, which determine the preservation of the insulating properties of the geological environment for the entire radiobiological hazard of height-level radioactive waste.