

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе  
СПбГУ

/Микушев С.В./



2024 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

Диссертация Токарева Игоря Владимировича «Изотопная реконструкция происхождения, эволюции и оценка текущего состояния водно-ледовых объектов» на соискание учёной степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.6 – Гидрогеология выполнена в Научном парке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» при тесном сотрудничестве с кафедрой гидрогеологии и инженерной геологии Института наук о Земле СПбГУ. В период подготовки соискатель Токарев И.В. работал в Ресурсных центрах «Рентгенодифракционные методы исследования» и «Геомодель» Научного парка СПбГУ в качестве ведущего специалиста и заместителя директора ресурсного центра.

Токарев Игорь Владимирович родился 26.09.1959 г. в г. Таганрог Ростовской области. В 1981 г. окончил Ленинградский горный институт (ЛГИ) по специальности горный инженер-гидрогеолог. В 1993 г. защитил диссертацию на соискание степени кандидата геолого-минералогических наук в ученом совете ЛГИ (диплом Кн № 003761 от 08 апреля 1994 г.). С 2013 г. работает в Научном парке СПбГУ. Содержание диссертационной работы рассмотрено экспертной группой СПбГУ в составе: председатель – Румынин Вячеслав Гениевич, профессор кафедры гидрогеологии; члены: Кузнецов Владислав Юрьевич, профессор кафедры геоморфологии; Панова Елена Геннадьевна, профессор кафедры геохимии.

*По итогам рассмотрения диссертации принято следующее заключение.*

**Актуальность исследования** обусловлена возможностью разработки новых более эффективных подходов к получению исходной геологической информации и ее интерпретации на базе изотопно-геохимических методов, позволяющих определять возраст водно-ледовых объектов, идентифицировать их генезис, а также оценивать скорости и направление протекания процессов в подземной гидро- и криосферах. Современное развитие этого подхода происходит достаточно активно, в основном – за счет работ по обоснованию безопасности захоронения радиоактивных отходов в

геологической среде и при изучении глобальных вариаций климата. Существует, однако, ряд нерешенных проблем, обусловленных недостаточным пониманием условий формирования изотопных сигналов в подземной крио- и гидросферах и относящихся к определению области применимости конкретных изотопных методов в различных природно-техногенных обстановках. Представленная диссертация в значительной степени улучшает понимание протекающих природных и антропогенно- обусловленных процессов в подземной гидро- и криосферах.

**Целью работы** является теоретическое и экспериментальное обоснование способов применения изотопно-геохимических и геохронологических методов для реконструкции происхождения и эволюции, а также оценки текущего состояния и прогноза изменения характеристик водно-ледовых объектов под действием природных и антропогенных факторов.

**Задачи исследования** были решены методически корректно на базе анализа теоретических представлений о процессах, контролирующих поступление изотопов водорода, кислорода и других природных нуклидов в подземную крио- и гидросферы, а также развития способов интерпретации первичных изотопно-геохимических данных. Физическое и компьютерное моделирование, а также апробация возможностей изотопно-геохимических методов на конкретных объектах дали основание для количественного определения влияния отдельных физико-химических факторов на поведение изотопов в природных и техногенных обстановках, в том числе, для понимания информативности изотопных данных при изучении месторождений пресных, минерально-лечебных, промышленных и термальных вод, а также исследований, связанных с захоронением радиоактивных отходов.

**Достоверность первичных материалов**, представленных в работе, базируется на применении комплекса современной измерительной аппаратуры, включая масс- и лазерно-спектрометрические и счетно-сцинтилляционные приборы, а также использованием нормативно принятых и/или новых, методически обоснованных автором способов отбора, консервации, хранения и подготовки проб, и последующего выполнения аналитических процедур.

**Достоверность выводов**, полученных соискателем, основывается на статистически значимых выборках данных (использованы тысячи изотопных и химических анализов) и широком охвате изученных природно-техногенных условий, относящихся к десяткам участков исследований в пределах северной части Евразии. Интерпретация первичных данных производилась с помощью стандартных и предложенных автором подходов.

**Научная новизна** работы заключается в: (1) обосновании условий формирования входной функции, описывающей вариации содержаний изотопных трассеров в водах, питающих водно-ледовые объекты; (2) подтверждении возможности диагностирования существования мерзлоты в прошлом на базе измерения избытков урана-234 в «возрожденных» водах, сформированных в результате таяния подземных льдов; (3) возможности выполнения тритий/гелий-3 и уран-торий/гелиевого датирования молодых и древних вод на базе гелий/неоновой систематики, предлагаемой автором.

**Теоретическая значимость** проведенных исследований заключается в развитии методов получения и интерпретации изотопных данных, расширении возможностей диагностики и применимости этих методов, а также в предложенных автором оценках ошибок определения количественных параметров, описывающих условия формирования и эволюции водно-ледовых объектов.

**Практическая значимость** диссертационной работы заключается в возможности тиражирования предлагаемых автором подходов получения исходной изотопно-геохимической информации и методов ее интерпретации при изучении водно-ледовых объектов, включаемых в хозяйственную деятельность.

**Личное участие** автора в получении первичных материалов, использованных в диссертации, заключается в проведении полевых работ, аналитических измерений и интерпретации полученных данных, а также в разработке методических подходов к выполнению работ на всех этапах научных исследований и прикладных проектов.

**Апробация работы** включала участие автора в нескольких десятках российских и международных научных конференций в период с 1996 по 2023 г., а также публикацию результатов в 83 научных работах из которых 5 являются главами или разделами монографий, а 68 – статьями в индексируемых ВАК, SCOPUS и WoS журналах (список прилагается).

#### **Защищаемые положения.**

1. В гумидных и аридных районах мира вне зоны сплошного развития мерзлоты концентрации и режим поступления изотопов в подземную гидро- и криосферу описываются кусочно-импульсной входной функцией, отвечающей для дейтерия, кислорода-18 и трития средневзвешенным концентрациям в осадках холодного, а для благородных газов – теплого периода года, поэтому общепринятое использование синусоидальной входной функции или среднегодовых концентраций в атмосферных осадках значительно искажает результаты расчетов, основанных на указанных трассерах.

2. Ураганные избытки урана-234 ( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} > 10$ ) в подземных водах обусловлены его накоплением в пленочной влаге мерзлых грунтов в ледниковые периоды с последующим его высвобождением при таянии мерзлоты, что позволяет (совместно с датированием и изучением изотопного состава воды) оценивать глубину промерзания в периоды климатических похолоданий, темпы деградации мерзлоты при потеплении, а также устанавливать факт наличия мерзлоты в прошлом для районов, ныне от нее свободных.

3. Неон-гелиевая систематика ( $^3\text{He}/^4\text{He}$  vs.  $^{20}\text{Ne}/^4\text{He}$ ) позволяет определять условия формирования инфильтрационного питания, диагностировать наличие избыточных газов атмосферного и радиогенного происхождения, рассчитывать пропорции смешения молодых и древних вод, и, при наличии данных по родительским изотопам, выполнять тритий/гелий-3 и гелиевое датирование подземных вод.

4. Апробация предлагаемых методов использования системы изотопных трассеров ( $^{1,2,3}\text{H}$ ,  $^{16,18}\text{O}$ ,  $^{3,4}\text{He}$ ,  $^{20}\text{Ne}$ ,  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ) в широком круге природно-географических условий и варьирующих типах техногенной нагрузки подтвердила эффективность их комплексного применения, позволяющего: а) реконструировать обстановки, определявшие условия формирования водно-ледовых объектов, б) диагностировать и количественно оценивать основные факторы, контролируемые формирование ресурсов и качества подземных вод, в) использовать изотопные данные для решения прогнозных задач, например, при оценке обосновании безопасности захоронения радиоактивных отходов в подземном пространстве.

Незначительные замечания редакционного характера для правки автореферата переданы И.В. Токареву.

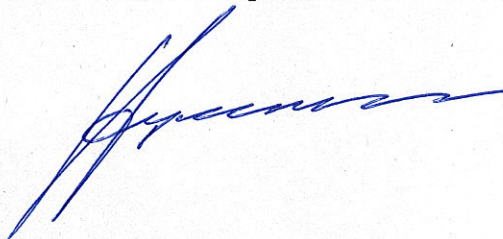
Диссертация Токарева Игоря Владимировича «Изотопная реконструкция происхождения, эволюции и оценка текущего состояния водно-ледовых объектов» соответствует требованиям, предъявляемым пунктами 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней».

Диссертация Токарева Игоря Владимировича «Изотопная реконструкция происхождения, эволюции и оценка текущего состояния водно-ледовых объектов» рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.6 – Гидрогеология (геолого-минералогические науки).

Проект заключения принят на заседании экспертной группы, сформированной распоряжением проректора по стратегическому развитию и партнерству СПбГУ

А.С. Ярмош от 29.12.2023 г. № 5058/1р в составе 3 (трех) человек: Румынина Вячеслава Гениевича, профессора кафедры гидрогеологии (председатель), и членов комиссии – Кузнецова Владислава Юрьевича, профессора кафедры геоморфологии и Пановой Елены Геннадьевны, профессора кафедры геохимии.

Присутствовало на заседании 3 (три) человека. Результаты голосования: «за» – 3 чел., «против» – нет, «воздержалось» – 0 чел. Протокол № 1 от «31» января 2024 г.



Румынин Вячеслав Гениевич  
член-корр. РАН, доктор геол.-мин. наук,  
профессор кафедры гидрогеологии  
Института наук о Земле СПбГУ