

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.062.01, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ЗЕМНОЙ КОРЫ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 17 апреля 2025 г. № 1
о присуждении Токареву Игорю Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора геолого-минералогических наук.

Диссертация «Изотопная реконструкция происхождения, эволюции и оценка текущего состояния водно-ледовых объектов» **по специальности** 1.6.6. Гидрогеология **принята к защите** 27.12.2024 г. (протокол № 4) диссертационным советом 24.1.062.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, приказ Минобрнауки России № 208/нк от 29.04.2013 г.

Соискатель Токарев Игорь Владимирович, 26 сентября 1959 года рождения, в 1981 году окончил Ленинградский горный институт по специальности «Горный инженер-гидрогеолог». Диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук «Разработка и апробация изотопных методов индикации подземных вод при изучении их загрязнения» защитил в 1993 году в диссертационном совете при Ленинградском горном институте по специальности 25.00.07 – Гидрогеология.

Работает в должности ведущего специалиста Ресурсного центра «Рентгенодифракционные методы исследования» Научного парка СПбГУ.

Диссертация выполнена в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ).

Официальные оппоненты:

Артамонова Светлана Юрьевна, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории прогнозно-металлогенических исследований ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН;

Рассказов Сергей Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией изотопии и геохронологии ФГБУН Институт земной коры СО РАН;

Харитонов娜 Наталья Александровна доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры гидрогеологии ФГОУ ВПО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск **в своем положительном**

отзыве, подписанном Лепокуровой Олесей Евгеньевной, ведущим научным сотрудником лаборатории гидрогеохимии и геоэкологии, директором Томского филиала ФГБУН ИНГГ СО РАН, доктором геолого-минералогических наук, и утвержденном директором ФГБУН ИНГГ СО РАН, доктором физико-математических наук, профессором В.Н. Глинских, указала, что диссертационная работа «Изотопная реконструкция происхождения, эволюции и оценка текущего состояния водно-ледовых объектов» отвечает критериям, установленным п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (утвержденного постановлением № 842 Правительства РФ от 24 сентября 2013 г., с изменениями от 21 апреля 2016 г. «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней») для ученой степени доктора наук, а ее автор Токарев Игорь Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.6. Гидрогеология.

Соискателем опубликована 91 работа (без учета тезисов конференций), в том числе 7 монографий (в соавторстве) и 84 статьи в журналах, рекомендованных ВАК и проиндексированных в международных базах научных знаний Scopus, Web of Science.

Наиболее значимые по теме диссертации работы:

1. Васильчук Ю.К., Гинзбург А.П., **Токарев И.В.**, Буданцева Н.А., Васильчук А.К., Паламарчук В.А., Блудушкина Л.Б., Слышкина Е.С. Морфология наледи Булуус, Улахан-Тарын, условия ее залегания и распределение стабильных изотопов кислорода и водорода в нижней части // Арктика и Антарктика. 2024. № 1.
2. **Токарев И.В.**, Исаков В.А., Исакова Т.Н. Использование изотопных методов для оценки условий формирования ресурсов и запасов подземных вод. Разведка и охрана недр. 2024, 1, 74–82.
3. **Tokarev I.**, Poturay V., Yakovlev E. Estimation of the thermal water formation at the Kuldur site (Amurregion, Russia) according to water isotope composition (^2H , ^{18}O). Environmental Earth Sciences. 2024, 83(126).
4. **Tokarev I.**, Yakovlev E., Erokhin S., Tuzova T., Druzhinin S., Puchkov A. Reflection of daily, seasonal and interannual variations in run-off of a small river in the water isotopic composition ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$): a case of the Ala-Archa mountain river basin with glaciation (Kyrgyzstan, CentralAsia). Water. 2024, 16, 1632.
5. Borodulina G., **Tokarev I.**, Yakovlev E. Isotope Composition of Natural Water in Lake Onega Basin. Water. 2023, 15, 1855.
6. Yakovlev E., **Tokarev I.** et al. Assessment of the radiation quality of groundwater with an increased uranium isotope ratio $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ (Pre-Volga region, European Russia). J. Radioanal. Nucl. Chem. 2023.
7. **Tokarev I.** et al. Inflow of surface and groundwater to Lake Ladoga based on stable isotope (^2H , ^{18}O) composition. J. Great Lakes Res. 2022, 48(4), 890-902.
8. **Токарев И.В.** и др. Задачи изотопных методов в структуре геологоразведочных работ на подземные воды. Разведка и охрана недр. 2022, 5, 33-38.
9. **Токарев И.В.** и др. Результаты применения изотопных методов при картировании листа Q-39 (Нарьян-Мар). Разведка и охрана недр. 2022, 9, 25-30.
10. Шамо́в В.В., **Токарев И.В.** и др. Динамика изотопного состава (^2H , ^{18}O) вод малых речных бассейнов южного Сихотэ-Алиня в летне-осенний период. Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2022, 4(2), 202-215.
11. Бородулина Г.С., **Токарев И.В.**, Левичев М.А. Изотопный состав ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) снежного покрова Карелии. Лед и снег. 2021, 61(4), 521-532.

12. Гудков А.В., **Токарев И.В.**, Толстихин И.Н. Формирование и баланс атмосферных осадков, поверхностных и подземных вод южных склонов Хибинского массива (по данным изотопного состава кислорода и водорода). Водные ресурсы. 2021, 48(1), 90-99.
13. **Токарев И.В.** и др. Неравновесный уран ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) водных объектов и климатические вариации: Океанический резервуар. Геохимия. 2021, 66(9), 857-864.
14. **Tokarev I.**, Yakovlev E. Non-Equilibrium Uranium as an Indicator of Global Climate Variations — The World Ocean and Large Lakes. Water. 2021, 13, 3514.
15. Yakovlev E., **Tokarev I.** et al. Isotope Signs ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, 2H , 18O) of Groundwater: An Investigation of the Existence of Paleo-Permafrost in European Russia (Pre-Volga Region). Water. 2021, 13, 1838.
16. Zykin N.N, **Tokarev I.V.**, Vinograd N.A. Monitoring of stable isotopes ($\delta 2\text{H}$, $\delta 18\text{O}$) in precipitations of Moscow city (Russia): Comparison for 2005-2014 and 1970-1979 periods. Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2021, 66(4), 723-733.
17. Амеличев Г.Н., **Токарев И.В.**, Токарев С.В. Установление условий формирования термоминеральных вод «Бишули» (Равнинный Крым) Изотопно-геохимическими методами. Геохимия. 2019, 12, 1288-1292.
18. Malov A.I., **Tokarev I.V.** Using stable isotopes to characterize the conditions of groundwater formation on the eastern slope of the Baltic Shield (NW Russia). J. Hydrology. 2019, 578, 124130.
19. **Tokarev I.V.** et al. Fingerprint of the geographic and climate evolution of the Baltic–White Sea region in the Late Pleistocene–Holocene in groundwater stable isotopes (2H , 18O). Quat. Intern. 2019, 524, p.76-85.
20. **Токарев И.В.** и др. Условия формирования железистых минеральных вод по изотопным и гидрохимическим данным (курорт «Марциальные воды», Карелия). Геохимия. 2015, 1, 88-91.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от:

1) **Абрамова В.Ю.** — д.г.-м.н., главного специалиста-гидрогеохимика АО «ГИДЭК» (г. Москва); 2) **Анохина В.М.** — д.г.н., ведущего научного сотрудника Института озераведения РАН (г. Санкт-Петербург); 3) **Бешенцева В.А.** — д.г.-м.н., профессора кафедры «Геология месторождений нефти и газа» Тюменского индустриального университета (г. Тюмень); 4) **Васильчука Ю.К.** — д.г.-м.н., профессора Кафедры геохимии ландшафтов и географии почв, географического факультета МГУ (г. Москва); 5) **Галкина А.Н.** — д.г.-м.н., профессора кафедры экологии и географии Витебского государственного университета имени П.М. Машерова и **Красовской И.А.** — к.г.-м.н., доцента, начальника научно-исследовательского сектора Витебского государственного университета имени П.М. Машерова (г. Витебск, Республика Беларусь); 6) **Глотова В.Е.** — д.г.-м.н., главного научного сотрудника лаб. региональной геологии и геофизики Северо-Восточного Комплексного НИИ ДВО РАН (г. Магадан); 7) **Горбуновой Э.М.** — д.г.-м.н., ведущего научного сотрудника Института динамики геосфер РАН (г. Москва); 8) **Дутовой Е.М.** — д.г.-м.н., профессора отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета» (г. Томск); 9) **Заведия Т.Ю.** — к.г.-м.н., эксперта по геотехнологическому мониторингу отдела технологического контроля АО «Сибирский химический комбинат» (г. Северск); 10) **Копыловой Г.Н.** — д.г.-м.н., доцента, главного научного сотрудника Камчатского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба» Российской академии наук (г. Петропавловск-Камчатский); 11) **Кадебской О.И.** — д.г.н., заведующей Кунгурской лабораторией-

стационаром Горного института УрО РАН (г. Пермь); 12) **Кирюхина А.В.** – д.г.-м.н., профессора, главного научного сотрудника, зав. лаб. тепломассопереноса ФГБУН Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский); 13) **Кузнецова В.Ю.** – д.г.-м.н., профессора кафедры геоморфологии СПбГУ (г. Санкт-Петербург); 14) **Малова А.И.** – д.г.-м.н., директора Института геодинамики и геологии ФИЦ Комплексного изучения Арктики УрО РАН и **Яковлева Е.Ю.** – к.г.-м.н., заведующего лаб. экологической радиологии Института геодинамики и геологии ФИЦ Комплексного изучения Арктики УрО РАН (г. Архангельск); 15) **Тагильцева С.Н.** – д.т.н., профессора кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии Уральского государственного горного университета (г. Екатеринбург); 16) **Рыбниковой Л.С.** – д.г.-м.н., г.н.с. лаб. экологии горного производства Института горного дела УрО РАН и **Рыбникова П.А.** – к.г.-м.н., зав. лаб. геоинформационных и цифровых технологий в недропользовании Института горного дела УрО РАН (г. Екатеринбург); 17) **Маслобоева В.А.** – д.т.н., советника ген. директора ФИЦ Кольский научный центр РАН (г. Апатиты); 18) **Озерского А.Ю.** – к.г.-м.н., главного гидрогеолога АО "Красноярская горно-геологическая компания" (г. Красноярск); 19) **Петрова В.В.** – к.г.-м.н., зав. сектором гидрогеологии и гидрогеохимии ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург); 20) **Румынина В.Г.** – чл.-корр. РАН, научного руководителя Санкт-Петербургского отделения Института геоэкологии РАН (г. Санкт-Петербург); 21) **Стрелецкой И.Д.** – к.г.-м.н., и.о. зав. кафедрой криолитологии и гляциологии географического факультета МГУ (г. Москва); 22) **Сударикова С.М.** – д.г.-м.н., профессора кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Санкт-Петербургского Горного университета императрицы Екатерины II (г. Санкт-Петербург); 23) **Тренина А.А.** – д.г.-м.н., г.н.с, директора НИЦ «Центр экологической безопасности» РАН (г. Санкт-Петербург); 24) **Филатова Н.Н.** – чл.-корр. РАН, профессора, г.н.с. лаб. географии и гидрологии Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН и **Бородулиной Г.С.** – к.г.-м.н., доцента, с.н.с лаб. гидрохимии и гидрогеологии Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (г. Петрозаводск); 25) **Хаустова А.П.** – д.г.-м.н., профессора, вед. специалиста института экологии «РУДН» (г. Москва); 26) **Позднякова С.П.** – д.г.-м.н., зав. кафедрой гидрогеологии, профессора геологического факультета МГУ (г. Москва); 27) **Носаля А.П.** – д.г.н., зав. отделом гидролого-экологических исследований Уральского филиала РосНИИВХ (г. Екатеринбург); 28) **Екайкина А.А.** – д.г.н., в.н.с. Арктического и антарктического НИИ (г. Санкт-Петербург); 29) **Кульковой М.А.** – д.г.-м.н., профессора Кафедры геологии и геоэкологии факультета географии Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена (г. Санкт-Петербург); 30) **Ильина А.В.** – руководителя портфеля проектов Вилуйской геологоразведочной экспедиции АК «АЛРОСА» (ПАО) (г. Новосибирск); 31) **Брушкова А.В.** – д.г.-м.н., зав. Кафедрой геоэкологии геологического факультета МГУ (г. Москва).

Все отзывы **положительные**. В отзывах содержатся критические замечания:

1. В части текста, обосновывающей необходимость развития методических основ применения ландшафтных индикаторов, не вполне четко оконтурена область

гидрогеологических знаний, в пределах которой, по мнению автора, остается ряд нерешенных фундаментальных проблем, связанных с наблюдаемыми изотопными эффектами, а также не перечислены эти эффекты. 2. Представленная на рисунке 9 графически и ниже по тексту в виде описания «Концептуальная схема вертикальной гидрогеологической зональности и изотопно-гидрохимических характеристик подземных вод», по-видимому, должна иметь ограничения, которые, однако, никак не рассматриваются. 3. В представленном на отзыв автореферате неясно какими разделами диссертационной работы подкрепляются данные защищаемые положения. 4. Надо объяснить рис. 20, почему в Нижне-Канском гранитном массиве в результате деградации ММГП трещинные воды сдвинулись вправо от линии Крейга, а поровые воды – влево. 5. На рис. 9 (стр. 23 автореферата) приведена «концептуальная схема вертикальной гидрогеологической зональности и изотопно-гидрохимических характеристик подземных вод ...», в которой И.В. Токарев выделяет три зоны интенсивности водообмена. Фактически эта схема является схемой вертикальной изотопно-гидрохимической зональности, о которой говорится на стр. 7 автореферата. В автореферате не удалось найти сведений о показателях водообмена (подземном стоке, расходе подземных вод, проницаемости пород), поэтому выделение зон интенсивного или замедленного водообмена без показателей последнего не имеет оснований. О неправильности подхода к «установлению гидрогеодинамической зональности по гидрогеохимическим показателям» еще в 1977 году писал Е.В. Пиннекер (Проблемы региональной гидрогеологии, М., Наука, 1977, с. 51). 6. «В подошве мерзлоты формируются переохлажденные соленые воды (криопэги), которые могут мигрировать вниз по разрезу, вследствие повышенной плотности, а также давления, развиваемого на фронте замерзания». Криопэги, как правило, не мигрируют, а сохраняются по разрезу в несвязанных между собой линзах, их формирование связано с палеогеографией района (например, север Западной Сибири) (стр. 13). 7. Утверждение, что увеличение мощности льда ледника ведет «к таянию его подошвы и возникновению инфильтрационного потока воды, пересыщенной кислородом, который может охватывать значительную часть геологического разреза», спорно. Большинство современных ледников в Арктике маломощные, приморожены к поверхности, а в криохроны эти ледники отсутствовали вовсе (стр. 14). В термохроны мерзлота в Арктике полностью не оттаивала, поэтому утверждение, что «ледниковая эпоха характеризуется господством окислительных условий в значительно большем объеме пород, чем в эпоху потепления», не верно. Никаких подземных вод там не было, все было проморожено. 8. При исследованиях в скальных массивах следует учитывать гидрогеомеханическую (тектоническую) стратификацию гидрогеологического разреза. следовало бы пояснить каким образом наличие пленочной влаги в мерзлых грунтах приводит к накоплению урана-234 относительно урана-238. 9. Поскольку автор претендует на оценку скорости протекания изотопных процессов фракционирования вод в естественных условиях необходимо оценивать условия их выборочной стационарности в различных геохимических обстановках. Отсюда формируется сукцессия флуктуаций и осреднение данных не только для сезонных вариаций. В этом случае рис. 2 автореферата приобрел бы более реальное отображение. Сопоставлялась ли точность определения изотопа кислорода и водорода и на этой основе расчет температур? Не совсем ясен смысл построения таких графиков. Более корректно было бы связать такие представления с циклами водообмена в выделенных геологических структурах (минимаксный принцип в приложении к изотопам). 10. Соискателем высказана достаточно смелая мысль о «стагнации водообмена и накоплении урана-234 в многолетнемерзлых породах». Промерзание пород шло в течение длительного периода, как и их растепление. Неясно, почему мы будем иметь на выходе избыток

соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$. Наличие пленочной влаги эти процессы не объясняются. Соискателю следовало бы обратиться к технологиям кучного выщелачивания урана, в которых возможны даже большие соотношения. В принципе, фракционирование изотопов в подземных водах объяснить только 2-стадийными процессами маловероятно. Поэтому утверждение, представленное во втором защищаемом положении о величине этого соотношения более 10 представляется дискуссионным.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой квалификацией специалистов в области геологии, гидрогеологии и радиогеоэкологии, а также большим опытом выполнения научно-исследовательских работ.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны научные основы применения изотопно-геохимических и геохронологических методов для обоснования генезиса и эволюции водно-ледовых объектов под влиянием природных антропогенных факторов;

доказана возможность использования неон-гелиевой систематики благородных газов с целью получения исходных данных, необходимых для тритий/гелий-3 и гелиевого методов датирования подземных вод;

предложена модель формирования ураганных избытков урана-234 (в виде отношений $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} > 10$ в «возрожденных» водах, сформировавшихся в результате таяния подземных текстурообразующих льдов) вследствие длительного пребывания пород в мерзлом состоянии и наличия пленочной влаги в мерзлых грунтах, что позволяет диагностировать наличие палеомерзлоты в регионах, ныне от нее свободных;

апробирован подход, включающий комплексное использование изотопных систем для получения изотопно-гидрохимической информации и решения прикладных задач на реальных объектах.

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что

доказаны следующие положения:

1. В гумидных и аридных районах Мира вне зоны сплошного развития мерзлоты концентрация и режим поступления изотопов в подземную гидро- и криосферу описывается кусочно-импульсной входной функцией, отвечая для дейтерия, кислорода-18 и трития средне-взвешенным 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 (отношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} > 10$) в подземных водах обусловлены его накоплением в пленочной влаге мерзлых грунтов в ледниковые периоды с последующим его высвобождением при деградации 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 ($^3\text{He} + ^{20}\text{Ne}$) 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 ($^{1,2,3}\text{H}$, $^{16,18}\text{O}$, ^3He , ^{20}Ne , $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) в широком круге природно-географических условий и варьирующихся 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, контролирующие формирование ресурсов и качества подземных вод, в) использовать изотопные данные для решения прогнозных задач, например, при обосновании безопасности захоронения радиоактивных отходов в земных недрах.

В диссертационной работе использованы современные методологические подходы к получению первичной изотопно-гидрохимической информации, в том числе предложенные автором диссертационного исследования; использован комплекс аппаратурно-измерительных приборов, включая масс- и лазерно-спектрометрическое, а также жидкостно-сцинтилляционное аналитическое оборудование для измерений; компьютерное моделирование для изучения фильтрационных и миграционных процессов;

описаны новые подходы к интерпретации гидрогеологического отклика на протекание природных (климатических) и техногенных процессов, определяющих условия формирования ресурсов и качества подземных вод на конкретных объектах, расположенных в различных ландшафтных и природно-климатических условиях;

раскрыты теоретические положения в области изотопной гидрогеохимии для интерпретации полученных данных, расчета гидрогеологических параметров на базе изотопных данных и применения полученных количественных оценок для выполнения прогнозов;

изучены на базе натурных и численных экспериментов особенности реакции гидрогеологических систем на изменение природно-климатических условий и соответствующие изменения в составе ландшафтных изотопных трассеров;

определены условия использования комплекса ландшафтных индикаторов, включая изотопы водорода, кислорода, благородных газов и урана для эффективного решения прикладных задач.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены рекомендации по оценке условий безопасного захоронения жидких радиоактивных отходов на полигоне АО «Сибирский химический комбинат», а также использованы полученные автором данные по датированию и изотопному составу подземных вод в АО «Красноярская горногеологическая компания» при геологическом изучении объекта для окончательной изоляции радиоактивных отходов в пределах Ангара-Канского выступа Енисейского кряжа;

получены новые данные, позволяющие количественно учитывать потери атмосферных осадков на эвапотранспирацию при расчете инфильтрационного питания подземных вод в различных климатических зонах Европейской территории России;

определены основные закономерности формирования повышенной йодной минерализации в подземных водах Северо-Двинской впадины, накладывающие ограничение на эксплуатационные запасы месторождения; определены условия формирования полезной лечебной нагрузки в виде повышенных содержаний железа для спа-курорта «Марциальные воды», указывающие на необходимость соблюдения щадящего режима эксплуатации месторождения;

созданы мониторинговые площадки для наблюдений за атмосферными осадками в Москве, Петрозаводске и районе Санкт-Петербурга;

представлены результаты датирования подземных вод в пределах Ижорского плато (район Санкт-Петербурга) на водозаборе Петербургского института ядерной физики, использованные для построения численной модели подземных вод района, которые были использованы для оценки негативных последствий проектных аварий на ЛАЭС;

предложены основные теоретические принципы диагностики присутствия «возрожденных» вод, сформировавшихся при таянии подземных текстурообразующих льдов в зоне существования многолетнемерзлых пород в период последнего ледниково-межледникового цикла, а также для определения глубины многолетнего промерзания.

Достоверность результатов исследования заключается в том, что:

результаты получены инструментальными измерениями с применением апробированных аналитических методик; использованы общепринятые методы моделирования на программном комплексе ModFlow; проведена обработка значительного (включающего тысячи изотопных анализов) массива данных; построены аналитические гидрогеологические и изотопные схемы, разрезы и диаграммы.

Теоретическая часть диссертационного исследования заключается в комплексном подходе, включающем теоретические научные разработки поведения изотопных трассеров в гидрогеологических системах, с апробацией получаемых выводов при изучении природных объектов с учетом вариаций природных и техногенных обстановок, характерных для территории Российской Федерации.

Идея работы состоит в комплексном применении изотопной информации для диагностики гидрогеологических процессов и получении необходимых количественных оценок, в том числе на базе вновь предложенных автором подходов к интерпретации данных об изотопном составе воды и содержании благородных газов.

В диссертационной работе:

– *использованы* полученные лично автором изотопные данные, включая экспериментальные результаты многолетнего мониторинга на ряде объектов за период 1989-2020 г., а также опубликованные и фондовые материалы;

– *применены* современные аппаратурно-измерительные комплексы для получения исходной изотопно-гидрохимической информации;

– *использованы* методы математического моделирования фильтрации и массопереноса с применением общепринятых программных пакетов в процессе обработки исходных

данных и проведения численных экспериментов для обоснования изучаемых изотопных эффектов.

Личный вклад соискателя состоит

- в организации и проведении экспедиционных работ в рамках различных проектов, а также в ходе государственной геологической съемки масштаба 1:200 000;
- в получении первичной изотопно-гидрохимической информации в различных природно-климатических условиях, в ряде случаев, при оценке воздействия реальных промышленных объектов на геологическую среду в ходе аналитических лабораторных работ;
- в организации точек мониторинга за атмосферными осадками и выполнении анализа получаемых проб;
- в систематизации и обработке первичной изотопно-гидрохимической информации, а также интерпретации полученных данных;
- в написании производственных и научных отчетов по результатам проектов и защите их на заседаниях научно-технических советов.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания (заданы вопросы): *1. Позволяют ли изотопные геохимические методы определять именно генезис четвертичных отложений? 2. Вы работали на многих объектах, связанных с захоронением радиоактивных отходов и прогнозировали, насколько вредные элементы могут распространяться в геологической среде. Учитывались ли при этом разломы, может проводились попутно какие-то работы, ведь все-таки разломы оказывают влияние на миграцию флюидов? 3. Что такое «молодые воды» и «древние воды»? Где между ними возрастная граница и как они связаны с классической гидродинамической зональностью? 4. В работе отсутствует раздел «Объекты исследования». Не понятно, что за «водно-ледовые» объекты имеются в виду и как они соотносятся с «водными объектами» и «ледовыми объектами», о которых речь идет в содержательной части работы?*

Соискатель ответил на заданные ему в ходе заседания вопросы: *1. Этот вопрос относится к классической геологии и нужно сказать, что тот набор изотопных методов, который использовался, как раз и позволяет в рамках геохронологии заниматься определением возраста, а в рамках изотопной геохимии – определением генезиса источника вещества, что зачастую и является целью геологических работ. 2. Собственно возникновение смешения это и есть результат наличия разломов, потому что они и являются основными путями прохождения компонентов. 3. Для молодых вод формулировка совершенно простая: в данной работе предполагается, что если в воде изначально присутствовал тритий, то этот компонент называется молодым, поскольку тритий, который может создавать избыток тритигенного гелия-3 в атмосфере стал появляться после 1952 года, то нижняя граница этих вод совершенно точно определена. Что касается древних вод, то это немного «плавающая» ситуация, поскольку она зависит в какой-то мере от средств измерений и если у вас масс-спектрометр имеет относительно более низкую точность, чем принято сейчас, то минимальные возраста древних вод мы можем определять*

порядка 1000–1500 лет, а на более современных приборах можно определять вклад этой терригенной компоненты уже с возрастами 100–200 лет. Поэтому здесь границы, как таковой, нет, она «плавающая». Что касается гидродинамики, то естественно молодая компонента это та, которая быстро движется. И это, соответственно, только грунтовые воды и какое-то количество напорных горизонтов, это зависит от конкретной ситуации. 4. Термин «водно-ледовые» объекты использован для подчеркивания связи воды в различных фазовых состояниях, обусловленных сезонными и климатическими вариациями температур.

На заседании 17 апреля 2025 г. диссертационный совет принял решение за совокупность сформулированных теоретических положений, позволяющих количественно определить влияние ряда природных физико-химических факторов, включая испарение и пребывание пород в мерзлом состоянии в периоды оледенений, на фракционирование, концентрирование и перераспределение изотопов между средами, квалифицируемых как крупное научное достижение и существенно развивающих научно-методические основы гидрогеологии, присудить **Токареву Игорю Владимировичу** ученую степень доктора геолого-минералогических наук.

При проведении тайного электронного голосования диссертационный совет в количестве 11 человек, из них докторов наук по специальности 1.6.6. Гидрогеология, участвовавших в заседании – 6, проголосовали: за – 11, против – нет.

Председатель диссертационного
совета, д.г.-м.н.



Алексеев Сергей Владимирович

Ученый секретарь диссертационного
совета, к.г.-м.н.



Бабичева Виктория Аркадьевна

17 апреля 2025 г.