

**Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки  
Институт нефтегазовой геологии и  
геофизики им. А.А. Трофимука  
Сибирского отделения  
Российской академии наук  
(ИНГГ СО РАН)**

Проспект Академика Коптюга, д. 3  
Новосибирск, 630090  
Тел. (383) 333-29-00, факс (383) 330-28-07  
E-mail: ipgg@ipgg.sbras.ru  
www.ipgg.sbras.ru  
ОКПО 93857650 ОГРН 1065473056670  
ИНН/КПП 5408240311/540801001

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ФГБУН ИНГГ  
им. А.А. Трофимука СО РАН  
профессор, д.ф.-м.н.

В.Н. Глинских

«21» марта 2025 г.



На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

### **ОТЗЫВ**

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского  
отделения Российской академии наук  
на диссертационную работу Токарева Игоря Владимировича «Изотопная  
реконструкция происхождения, эволюции и оценка текущего состояния водно-  
ледовых объектов», представленную на соискание ученой степени доктора геолого-  
минералогических наук по специальности 1.6.6 – Гидрогеология

#### **1. Актуальность для науки и практики**

В настоящее время изотопно-геохимические методы стали одним из основных инструментов в геологическом цикле наук. Они позволяют определять возраст геологических образований, идентифицировать их генезис, а также оценивать скорости и направление протекания процессов в геосферах. В гидрогеологических исследованиях для понимания фундаментальных механизмов функционирования гидро- и криосфер активно используют природные и техногенные изотопы. При решении прикладных задач применение изотопных трассеров позволяет получать принципиально новую информацию о водно-ледовых объектах по сравнению со стандартными (нормативно предусмотренными) подходами.

Диссертационная работа Токарева Игоря Владимировича посвящена теоретическому и экспериментальному обоснованию способов применения изотопно-геохимических и геохронологических методов для реконструкции происхождения, эволюции, оценки текущего состояния и прогноза изменения характеристик водно-ледовых объектов под действием природных и антропогенных факторов. Несмотря на то, что актуальность темы диссертационной работы не вызывает сомнений, *хотелось бы сразу отметить сложно сформулированную цель из много составных частей (здесь и далее замечания и некоторые комментарии будут приводиться курсивом). Материал слишком разноплановый и тяжело komponуется вместе, что, конечно, является частой проблемой при написании докторской диссертации.*

#### **2. Основные научные результаты, их значимость для развития соответствующей отрасли науки и для практической деятельности**

Основные научные результаты, полученные соискателем в ходе выполнения работы, детально представлены во введении (перечисление на 2 страницах

диссертации) и отражены в 4х положениях, выносимых на защиту, и могут быть изложены кратко следующим образом.

1. Доказано, что информационно необходимым и достаточным, а также экономически оптимальным в плане аппаратного оформления для фундаментального изучения гидро- криосфер и решения прикладных вопросов представляется комплекс, включающий изотопы водорода ( $^1,^2,^3\text{H}$ ), кислорода ( $^{16,18}\text{O}$ ), урана ( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ) и благородных газов ( $^3,^4\text{He}$ ,  $^{20}\text{Ne}$ ).

2. Показано на основе анализа теоретических представлений о процессах, контролирующих формирование сигналов в гидро- и криосферах и с помощью математического моделирования, что в гумидных и аридных районах «входная» функция для дейтерия, кислорода-18 и трития соответствует их средневзвешенным концентрациям в осадках холодного (среднесуточная температура  $<+5$  °C), а для благородных газов – теплого периода года.

3. Поступление указанных изотопов в водно-ледовые объекты с атмосферными осадками и инфильтрационными водами, описывается кусочно-импульсной входной функцией, а время и массы изотопов определяются фазами и интенсивностью питания, поэтому использование синусоидальной «входной» функции или среднегодовых концентраций ведет к ошибочному утяжелению расчетного изотопного состава питания на величину до +20 ‰ по  $\delta^2\text{H}$  и до +2,7 ‰ по  $\delta^{18}\text{O}$ , а и к завышению начальных концентраций трития на 10–30 %.

4. Ураганные избытки урана-234 в подземных водах ( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} > 10$  по активностям) обусловлены его накоплением в пленочной влаге мерзлых грунтов в ледниковые периоды с последующим «залповым» высвобождением при таянии мерзлоты. Использование этого индикатора совместно с датированием и изотопным составом воды позволяет 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.

5. Стандартные методы получения и интерпретации геохимической информации для тритий/гелий-3 датирования приводят к завышению датировок, которое при двухкомпонентном смешении и в гетерогенных средах (средах с двойной пористостью) может достигать десятков, а в особо неблагоприятных случаях – первых сотен процентов.

В диссертационной работе на базе теоретических изысканий и натуральных исследований предложены: 1) неон-гелиевая систематика ( $^3\text{He}/^4\text{He}$  vs.  $^{20}\text{Ne}/^4\text{He}$ ), позволяющая получить первичную изотопно-геохимическую информацию, необходимую для идентификации условий питания подземных вод и их датирования тритий/гелий-3 и уран-торий/гелиевым методами; 2) новые математические зависимости для расчета палеотемператур по полигонально-жильным льдам; 3) способ индикации «возрожденных» (талых мерзлотных) вод с использованием изотопного состава урана ( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ); 4) концептуальная изотопная стратификация гидрогеологического разреза верхней части земной коры.

### **3. Анализ содержания диссертационной работы**

Диссертация состоит из двух томов, включая Введение, 3 главы и Заключение (т. 1 – главы I и II – 226 стр., 27 таблиц, 106 рисунков, 862 ссылки и 2 приложения; т. 2 – глава III – 178 стр., 49 таблиц, 118 рисунков, 219 ссылок, не повторяющих т. 1).

Необходимо отметить оригинальные названия и детальность разделов, обусловленных материалом большого объема, логикой выполнения научных исследований и последовательностью поставленных научных задач.

**Во введении** обсуждается актуальность выбранной темы исследования, формулируются цели и задачи, фактический материал и методы, формулируются четыре защищаемых положения, обосновывается научная новизна, практическая значимость и реализация результатов, приведена информация об апробации работы, структуре и объеме диссертации (кратко) и о публикациях по теме исследования (ссылка на приложение).

*Не приведена информация об объектах исследования. Правда частично информация представлена в фактическом материале. Материал разрозненный, многоплановый с точки зрения поставленных задач. Не хватило обобщающей таблицы, в которой было бы показано по каким объектам и что было сделано.*

*Не хватило информации по экспедиционным исследованиям: были они или нет. Совсем кратко написано про методы исследований, с другой стороны, этому посвящена в том числе и сама диссертация, поэтому можно понять сжатость формулировок.*

**В первой главе (I)** «Теоретический анализ применения изотопных систем для исследования водно-ледовых объектов» представлен большой блок информации (на 68 страницах) сначала собственно по изотопам воды (дейтерий, кислород-18 и тритий) и анализу условий применимости, ошибок их использования; затем акцент смещается на анализ возможности использования четных изотопов урана ( $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ) для изучения деградации мерзлоты; и заканчивается изотопным датированием подземных вод с подводкой к использованию радиогенных благородных газов ( $^3\text{H}/^3\text{He}$  и (U-Th)/He методы).

На основе разделов I.1– I.2 формируется первое защищаемое положение: «В гумидных и аридных районах Мира вне зоны сплошного развития мерзлоты концентрации и режим поступления изотопов в подземную гидро- и криосферу, описывается кусочно-импульсной входной функцией, отвечая 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».

На основе раздела I.3 формируется второе защищаемое положение: «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».

На основе раздела I.4 формируется третье защищаемое положение: Неон-гелиевая систематика ( $^3,^4\text{He} + ^{20}\text{Ne}$ ) 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.

Информация в главе очень интересная, детально собранная, тщательно выверенная со множеством ссылок, с графиками и схемами. По ее содержанию претензий нет, автором проведена огромная работа. *Комментарии будут к*

структуре представления: все-таки это не монография, а диссертация. Нет защищаемых положений по тексту диссертации (как и по автореферату). Они отдельно представлены во введении. Часть информации соответственно не попало в защищаемые положения, например, про изотопное датирование. Этот раздел, кстати, очень понравился по содержанию.

**Во второй главе (II)** «Натурная апробация изотопных методов при оценке составляющих водного баланса и палеореконструкциях» приведен детальный (на 75 страницах) блок информации по: экспериментальной оценке испарения по изотопным данным; влиянию климатических вариаций на водный баланс, отклику параметров  $\delta^2\text{H}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  в речном стоке зоны развития ММП на современные погодноклиматические вариации (на примере нижнего течения р. Колымы); климатическим реконструкциям Арктики с использованием ПЖЛ; палеореконструкциям температур на базе благородных газов; натурным исследованиям условий формирования избытков урана-234 в гидросфере; анализу применимости изотопных трассеров и датирования для решения задач, связанных с палеореконструкциями и исследованием реакции водно-ледовых объектов на современное потепление.

Части этой главы также, видимо, вошли в первое и второе защищаемые положения.

Глава еще более, чем предыдущая, насыщенная по информации, графикам, рисункам, ссылкам и т.д. Подняты достаточно редкие темы. Очень понравилась результирующая схема распределения изотопных трассеров в подземном пространстве средних и высоких широт (рис. II.7.2. и табл II.7.1., в автореферате только рис. 9). Она проста и понятна, что не всегда характерно, к сожалению, для всей работы.

Далее в томе I, после главы II приводится заключение, которое повторяет заключение из автореферата, и в принципе включает и выводы по II тому. Странно, но возможно такие требования?

**В третьей главе (III)** «Примеры использования изотопных индикаторов для изучения условий» рассмотрены прикладные вопросы, касающиеся применения изотопных трассеров –  $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$ ,  $^{20}\text{Ne}$  и некоторых других меток для изучения поверхностных и подземных вод, ледников и мерзлоты, в том числе, для целей расчета элементов водного баланса и обоснования безопасности захоронения радиоактивных отходов в подземном пространстве.

Самая объемная глава (в содержании почему-то появляется слово «раздел») на 175 страниц. Вовлеченные в исследование территории поражают: Испания, Киргизия, Мурманская, Архангельская, Ленинградская области, Карелия, Татарстан, Крым, затем Томская область, Тече-Бродская структура (Пермская область? Почему-то нигде не указано) и даже Красноярский край!

Про каждый объект собрана детальная информация со множеством графиков, рисунков, карт, схем, диаграмм, формул, таблиц, решаются разные задачи, кроме изотопов приводится макро- микрокомпонентный состав вод, водный баланс, оценка водных ресурсов и качество вод и др. Изучать и описывать главу можно долго, и это очень интересно и познавательно, хотя и достаточно сложно при погружении в разные объекты с разными условиями и разными решаемыми задачами. По содержанию и наполнению главы претензий нет, единственно, она показались менее вычитанной, чаще встречались опечатки и технические ошибки.

На основе главы III формируется четвертое защищаемое положение: «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, контролирующие формирование ресурсов и качества подземных вод, в) использовать изотопные данные для решения прогнозных задач, например, при обосновании безопасности захоронения радиоактивных отходов в подземном пространстве».

**В заключении** детально сформулированы основные научные результаты диссертационной работы. *Но опять же текст повторяет заключение первого тома и автореферата.*

Всего **библиографический список** содержит более 1000 наименований. При этом используемая литература была разбита на отдельные разделы: публикации Токарева И.В. (сюда же вошли: список конференций, проектов, послужной список и т.д.), использованные источники, русскоязычная литература, иностранная литература, фондовая и нормативная, электронные ссылки. Это смотрится очень выигрышно!

В двух **приложениях** в т.1 представлено: примеры тестовых расчетов по оценке влияния емкости гетерогенной среды (двуслойный пласт) на результаты  $^3\text{H}/^3\text{He}$  датирования и список сокращений. *Опять же прослеживается скрупулёзность автора!*

#### **4. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Предлагаемые способы получения и интерпретации изотопно-геохимической и геохронологической информации апробированы на широком круге конкретных водно-ледовых в ходе реализации научных проектов, а также при решении прикладных задач в рамках коммерческих договоров. Использование указанного выше комплекса изотопной информации в рамках прикладных проектов наряду со стандартными нормативно предусматриваемыми видами исследований позволит сократить финансовые затраты, объемы и сроки проведения полевых работ и лабораторных исследований при сохранении качества получаемых результатов.

#### **5. Общие впечатления о работе**

Диссертация достаточно оригинально представлена (больше похожа на монографию), включает огромный фактический материал, замечательно проиллюстрирована, изложение логичное и вполне убедительно раскрывает суть решаемых задач. На защиту вынесено четыре научных положения. Все выводы диссертационной работы аргументированы, полностью отражают полученные результаты. Понравились отдельно прописанные выводы к каждой главе. В принципе, работа отличается тщательностью и скрупулёзностью. Чего стоят очень выверенные таблицы с фактическим материалом. Это точно та диссертация, которую неоднократно захочется еще раз прочитать и изучить, уж столько представлено интересной информации и под разными углами!

*Общее замечание уже выше было представлено: диссертация больше похожа на монографию, защищаемые положения представлены отдельно и их трудно иногда связать с текстом. Ситуацию мог бы исправить автореферат по защищаемым положениям, что связало бы текст больше с диссертационным исследованием (и с квалификационной работой), но, к сожалению, автор выбрал более простой вариант по главам. Зато автореферат полностью отражает основные идеи, содержание и выводы диссертационной работы, в том числе из-за выбранной структуры. В*

качестве общих замечаний также можно отметить тяжелый стиль написания, слишком разноплановый и тяжело komponующийся вместе материал.

Сделанные замечания не снижают очень положительной оценки диссертации, учитывая высокое качество и объем представленной информации.

#### **6. Заключение**

Диссертационная работа Токарева И.В. представляет собой законченное научное исследование, выполненное на актуальную тему, оригинально оформлено, содержит совокупность новых научных результатов и положений, выдвинутых автором для публичной защиты, обладает внутренним единством и свидетельствует о личном вкладе автора в развитие науки в области изотопной гидрогеохимии. Результаты работы изложены во множестве монографиях (8) и статьях в рецензируемых научных изданиях (82), рекомендованных ВАК, а также много раз докладывались на конференциях различного уровня.

Диссертация «Изотопная реконструкция происхождения, эволюции и оценка текущего состояния водноледовых объектов» отвечает всем требованиям ВАК, пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Токарев Игорь Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.6 – «Гидрогеология».

Обсуждение диссертации состоялось 20 марта 2025 года на заседании лаборатории гидрогеохимии и геоэкологии Томского филиала ИНГГ СО РАН, одним из направлений научно-исследовательской деятельности которой является изучение геохимических условий формирования состава подземных вод, в том числе методами изотопии. Отзыв на диссертационную работу Токарева И.В. рассмотрен на заседании Ученого совета ИНГГ СО РАН «21» марта 2025 года (Протокол №4) и одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации.

В.н.с. лаборатории гидрогеохимии и геоэкологии,  
директор Томского филиала  
ФГБУН ИНГГ СО РАН, д.г.-м.н.  
телефон: +7(382) 492-163  
E-mail: [LepokurovaOY@ipgg.sbras.ru](mailto:LepokurovaOY@ipgg.sbras.ru)  
Лепокурова Олеся Евгеньевна



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука» Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН)  
630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3  
тел: 8(383) 333-29-00, факс: 8(383) 330-28-07, e-mail: [ipgg@ipgg.sbras.ru](mailto:ipgg@ipgg.sbras.ru)

Директор ФГБУН ИНГГ им. А.А. Трофимука СО РАН, д.ф.-м.н., профессор  
Глинских Вячеслав Николаевич  
630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3  
тел: 8(383) 333-29-00, e-mail: [GlinskikhVN@ipgg.sbras.ru](mailto:GlinskikhVN@ipgg.sbras.ru)