

## О Т З Ы В

официального оппонента

на диссертацию **Козачек Анны Владимировны**

«Закономерности формирования изотопного сигнала в ледниковых кервах Эльбруса»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата географических наук по  
специальности 1.6.8 – Гляциология и криология Земли

Диссертация А.В. Козачек, представленная на соискание ученой степени кандидата географических наук, посвящена оценке изменений климата в высокогорной области Большого Кавказа по данным изучения изотопного состава ледниковых кернов Эльбруса и Казбека и является самостоятельной научно-квалифицированной работой. Временной срез исследования ограничен периодом 1816-2013 гг., т.е. существенно расширяет рамки инструментальных наблюдений в высокогорье Кавказа. Актуальность работы обусловлена не только получением новых палеогляциологических и палеогеографических данных, но и развитием методики палеоклиматических реконструкций, основанных на изотопных исследованиях ледниковых кернов из горных районов.

Следует отметить, что диссертация А.В. Козачек не только весьма актуальна с научной точки зрения, но и имеет практическое значение, поскольку важны для уточнения и валидации климатических и изотопных моделей.

Цель исследования – является выявление закономерностей формирования изотопного состава кислорода ледниковых кернов Эльбруса как основы для реконструкций изменений климата в высокогорной области Северного Кавказа за последние 200 лет – можно считать достигнутой. Поставленные задачи решены на высоком уровне.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием высокоточных изотопных данных. Результаты соответствуют данным, полученными другими авторами в различных горных районах. Обоснованность основных выводов подтверждается публикациями в рецензируемых периодических изданиях, обсуждением на конференциях и семинарах.

Научная новизна диссертации не вызывает сомнения. Защищаемые положения полностью раскрыты и обоснованы в диссертации. Основные положения работы доложены на многочисленных конференциях, доклады соискателя вызывали большой интерес слушателей. Личный вклад соискателя выражается в самостоятельной пробоподготовке и анализе изотопного состава более чем 7000 образцов, включая разработку методики измерений, реконструкцию изменений температуры воздуха и количества осадков, анализ полученных результатов.

Приятно радуется глаз очень солидная апробация работы и большое количество публикаций по теме диссертации: 22 научные работы, отражающие ее основное содержание и результаты; из них 20 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, в том числе 3 в высокорейтинговых журналах WoS. Следует отметить базу данных и изобретение, созданные автором диссертации (в соавторстве). Перечень публикаций автора свидетельствует о широкой информированности научно-технической общественности о содержании работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы – 106 страниц, включая 43 рисунка и 7 таблиц. Список литературы содержит 145 наименований. Структура работы сбалансирована и логична, текст написан хорошим языком и выверен.

**Введение** содержит обоснование цели и задач диссертационной работы, в нем изложены основные защищаемые положения, актуальность, новизна и практическая значимость, личный вклад автора и сведения об апробации работы.

**В первой главе** приводится информация об изотопных исследованиях ледников и ледниковых кернов. Описана история развития метода и факторы формирования изотопного состава атмосферных осадков, рассмотрено применение изотопного метода для анализа кернов горных ледников.

**Во второй главе** кратко описывается оледенение Кавказа и тенденции его современных изменений. Детально описана методика отбора и анализа проб льда из кернов, приведены сведения о разрешении и общем количестве проб. Представлены данные о климате, на основе которых соискателем проведен анализ условий и закономерностей формирования изотопного состава осадков. Выявлена тесная связь между температурой воздуха и изотопным составом кислорода в осадках у подножия Эльбруса. Описывается технология измерения изотопного состава воды лазерным анализатором изотопного состава Picarro L2120-i, примененная автором лично. Соискателю удалось значительно улучшить производительность прибора по сравнению со стандартной методикой, сохранив при этом точность. Учет растекания льда и датирование годовых слоев проведены методически корректно. В результате для Западного плато Эльбруса получены значения изотопного состава льда с сезонным разрешением за последние 200 лет. Хотелось бы отметить, что анализ 7000 образцов потребовал весьма длительного кропотливого труда соискателя.

**В третьей главе** выявляются и анализируются закономерности формирования климатического сигнала в ледниковых кернах Эльбруса. Соискателем были рассчитаны временные ряды среднесезонных значений изотопного состава ледниковой толщи на Эльбрусе, охватывающие период с 1816 по 2014 гг. Сделан обоснованный вывод о том, что вариации изотопного состава льда в вертикальном разрезе ледниковой толщи на

Западном плато Эльбруса отражают, с учётом высотного и долготного градиентов, временные изменения изотопного состава атмосферных осадков во всей высокогорной области Большого Кавказа. Следует отметить, что результаты соискателя после независимой экспертной оценки были включены в международную базу данных об изотопном составе атмосферных осадков, ледников, водоёмов, натёчных образований в пещерах PAGES Iso2ka. Это говорит о высокой точности и значимости результатов. Сделан важный вывод об отсутствии значимого постдепозиционного эффекта и отсутствии нарушений сезонного сигнала в изотопных данных диффузией до ложа ледника на Западном плато Эльбруса.

Рассмотрены факторы, влияющие на изотопный состав льда в холодный и тёплый сезоны. Интересно, что статистически значимая корреляция изотопного состава и температуры воздуха на Эльбрусе обнаружена только для тёплых сезонов в период с 1984 г. по настоящее время. Соискатель логично объясняет причины такой ситуации. Сделан важный вывод о том, что изотопно-температурная функция на Эльбрусе сходна с горами Средней Азии. В холодные сезоны наиболее значимые коэффициенты корреляции обнаружены при сравнении изотопного состава льда и индексов циркуляции. Соискателем установлено, что изменения изотопного состава ледниковых кернов положительно связаны с изменениями индекса NAO в холодный сезон. Это утверждение ново и противоречит данным с европейских станций, расположенных на более низких гипсометрических уровнях. Были выявлены зависимости, связывающие изотопный состав ледникового керна на Эльбрусе с температурой воздуха в районе Терскола и зависимости между количеством осадков на метеостанции Клухорский перевал и скоростью снегонакопления на Западном плато Эльбруса.

**Четвертая глава** представляет собой квинтэссенцию работы – палеоклиматические реконструкции выпадающих осадков и температуры воздуха на основе изотопных данных из Эльбрусского керна. Следует подчеркнуть, что это первые палеоклиматические данные, полученные с высоты более 5000 м и отражающие условия свободной атмосферы. Аккумуляция на Западном плато была реконструирована с 1774 г., что является значимым гляциологическим результатом. Справедливо утверждается, что результаты кернового бурения описывают поле годовых осадков в радиусе 10 – 50 км максимально точно, до 100 км — с приемлемой точностью. Принципиален вывод соискателя о согласованности колебаний осадков в Сочи и на Западном плато Эльбруса с конца 19 века. При реконструкции температуры воздуха на основе изотопных данных тенденции потепления климата выявлено не было. Более того, отмечено похолодание по сравнению с концом 19 века. Соискатель критически относится к такому результату и объясняет его как локальными особенностями климата, так и особенностями формирования изотопного состава атмосферных осадков.

Результаты палеоклиматической реконструкции по изотопным данным сравниваются с региональными архивами, полученными, главным образом, путем применения дендрохронологии. Статистически значимой зависимости между изотопным составом и толщиной годовых слоёв ледниковых кернов и данными о температуре воздуха и количестве осадков, полученных методами дендрохронологии, соискателем не выявлено. Причина этого может крыться в значительной разнице высот участков исследования.

**В Заключении** сведены основные результаты, полученные в ходе работы над диссертацией. Выводы сформулированы четко и ясно и не допускают двусмысленного толкования. Заключение справедливо подчеркивает значимость полученных результатов.

Диссертация А.В.Козачек представляет собой законченное и качественно выполненное научное исследование. Тем не менее, к диссертации имеются замечания, в большинстве своем носящих характер рекомендаций.

К работе в целом имеется ряд редакционных замечаний. Некоторые рисунки слишком маленькие и нечитаемы, шкалы имеют слишком низкое временное разрешение. Имеются отдельные стилистические и грамматические ошибки в тексте.

Введение. Не до конца понятно, почему достоверными считаются сведения об осадках на Кавказе с 1966 г. При этом сведения по метеостанции Сочи использованы с конца 19 века, а сведения по другим метеостанциям, работающим с того же времени, игнорируются или учитываются существенно меньше.

Указывается, что в 2009 году впервые было выполнено глубокое бурение ледника в высокогорной области Кавказа – на Западном плато Эльбруса, в рекристаллизационной зоне льдообразования, где климатический сигнал во льду не нарушен летним таянием.

Всегда ли на Западном плато льдообразование идет именно по рекристаллизационному типу?

Защищаемое положение 2 понятно не до конца. Насколько точно можно смоделировать температуру воздуха на основе сведений об источниках влаги?

Защищаемое положение 3 достаточно тривиально, об этом писали уже давно (например, Погорелов, 2002), и не до конца обосновано.

В главе 1 на с.19 говорится про высокую скорость снегонакопления в Андах? На взгляд оппонента, это зависит от района. Например, в районе Аконкагуа или Сахама она низкая. Не хватает картосхемы с указанием мест отбора кернов на изотопный анализ.

В главе 2 (раздел 2.2) после рис.4 идут ссылки на рис.9 и рис.11, что не совсем корректно.

Некоторые утверждения в разделе 2.3 сомнительны. Например, «Все ледники Приэльбрусья относятся к бассейну Кубани. Наиболее крупные ледники — Большой Азау, Малый Азау, Гарабаши, Терскол, Ирик, Ирикчат».

Не объяснен выбор метеостанций в разделе 2.5. Судя по рис.9, в районе Казбека метеостанций нет.

Информация о керне с г.Казбек анонсирована, но на важных рис.23-25 приводятся только сведения по Эльбрусу. Надо ли тогда говорить про Казбек?

Рис.26 – оси надо было бы развернуть, так непонятно. Глубина должна быть по оси ординат, годы – по оси абсцисс.

Вывод 4 к главе 2: «В регионе наблюдаются тенденции к увеличению температуры воздуха, при этом потепление наиболее выражено в летний сезон. Кроме того, потепление на Кавказе началось позже, чем в других регионах». С первой частью вывода можно согласиться, но вторая часть вывода непонятна. Ее следует пояснить и конкретизировать.

В Главе 3, Рис.32 – легенда отсутствует. Как следует понимать этот рисунок?

В Главе 4, в разделе 4.1 построена пространственная корреляционная функция годовой суммы осадков, рассчитанная относительно метеостанции Терскол и сделан вывод о высокой устойчивости (степени связи) поля осадков на расстоянии 10-50 км. Вывод, очевидно, верный, но подобные работы проводились и раньше (например, Погорелов, 2002), а сопоставление результатов соискателя с ними отсутствует. Значения реконструированной аккумуляции на Западном плато Эльбруса количественно не сопоставлены с данными метеостанций по осадкам и с имеющимися реконструкциями баланса массы ледников. Это затрудняет оценку полученных результатов. На взгляд оппонента, необходимы совместные графики количества выпадающих осадков/аккумуляции снега.

Раздел 4.2 весьма краток, отсутствуют рисунки, иллюстрирующие сопоставление рядов данных по Эльбрусу, Сочи и другим метеостанциям.

Вывод 2 к главе 4 не соответствует рис.40, судя по которому роста осадков за последние 200 лет (с 1810-1820-х гг.) не отмечалось, а тенденции к росту проявились лишь с конца 1980-х гг.

Перечисленные недостатки не снижают общего положительного впечатления от диссертационной работы, поскольку не уменьшают, по существу, ценность выполненного исследования.

Диссертация Анны Владимировны Козачек является актуальной научно-квалификационной работой, содержащей решение задач, имеющих существенное значение для гляциологии. Поставленная в диссертации цель, несомненно, достигнута. Выводы получены на основе анализа обширного фактического материала, хорошо обоснованы, достоверны и новы. Научная значимость исследования выходит за границы изучаемого района. Диссертация содержит важные научные результаты и свидетельствует о высокой квалификации ее автора в гляциологии.

Содержание автореферата полностью соответствует тексту диссертации и дает исчерпывающее представление как о самой работе, так и о полученных результатах.

Диссертация и автореферат А.В.Козачек «Закономерности формирования изотопного сигнала в ледниковых ядрах Эльбруса» отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата географических наук, а ее автор – Анна Владимировна Козачек – безусловно заслуживает присуждения искомой степени по специальности 1.6.8 – Гляциология и криология Земли.

Официальный оппонент,  
доцент географического факультета  
МГУ имени М.В.Ломоносова,  
кандидат географических наук

Д.А.Петраков

26.09.2023 г.

Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, 1, ГСП-1

Email: [dpetrakov@gmail.com](mailto:dpetrakov@gmail.com)

Тел. Раб. +74959393673, Тел. Моб.+79263023713,

Email кафедры криолитологии и гляциологии: [cryomsu@gmail.com](mailto:cryomsu@gmail.com)

Подпись руки Д.А.Петракова заверяю,  
Декан географического факультета МГУ,  
Академик РАН



С.А.Добролюбов