



УТВЕРЖДАЮ

Директор СВКНИИ ДВО РАН

Д.г.-м.н., чл.-корр. РАН

В. В. Акинин

18 мая 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

**ФГБУН «Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского
института ДВО РАН (СВКНИИ ДВО РАН)»**

на диссертационную работу Ивановой Варвары Викторовны

**«Геохимические индикаторы палеоклиматических и палеоэкологических реконструкций
криогенных ландшафтов (на примере опорных разрезов плейстоцена Восточной Сибири)»
представленной на соискание ученой степени доктора географических наук
по специальности 1.6.14 – Геоморфология и палеогеография**

Диссертация В.В. Ивановой посвящена решению актуальных проблем современной науки, связанных с палеоклиматическими реконструкциями для четвертичного периода.

Главной целью работы является создание и апробирование инструмента в виде геохимических индикаторов различных климато-экологических систем прошлого.

Достижению цели способствовало решение **ряда частных, оправдано поставленных задач**, включая: анализ распределения редкоземельных элементов (далее РЗЭ) в четвертичных отложениях Восточной Сибири; разработку геохимических критериев для реконструкции условий диагенеза; выделение цифровых коэффициентов для характеристики палеоэкологических параметров; анализ геохимических индексов различных обстановок седиментации на основе индикаторных свойств спектра лантаноидов; совершенствование палеоседиментационных реконструкций в криолитозонах Восточной Сибири; улучшения разрешающей способности биостратиграфического анализа на основе разработки методики стратиграфической идентификации подъемного палеонтологического материала.

Фактический материал диссертационной работы получен при непосредственном участии автора. Он включает комплексную характеристику позднекайнозойских отложений из 15 стратотипических разрезов Восточной Сибири, расположенных по трансекту от Байкальского региона до островов Северного Ледовитого океана, анализ природных вод и ископаемых льдов, палеонтологических остатков. Объем выборок состоит из более 700 литохимических проб, 104 гидрохимических проб и 96 образцов костных остатков. Кроме того, автором проанализирована большая библиотека опубликованных данных, способствующая проведению анализа и синтеза полученных данных на современном мировом уровне.

В результате исследований автором получены **новые данные**, многие из которых являются пионерными для Восточно-Сибирского региона: впервые при интерпретации опорных разрезов плейстоцена подтверждена информативность распределения лантаноидов в глинистой фракции рыхлых отложений для палеоседиментационных реконструкций; разработана методика идентификации подъемного фаунистического материала на основе закономерностей распределения лантаноидов, включающая оценку изменения состава грунтовых вод, контактирующих с ископаемыми костными остатками и различные приемы визуализации геохимических спектров РЗЭ для палеоэкологических реконструкций; впервые на основе особенностей геохимических спектров РЗЭ определено наличие криогенных условий при фоссилизации костных остатков; проведена корреляция гомологичных терригенных и биогенных отложений по типу и величине тетрад-эффекта лантаноидов; впервые дана количественная характеристика содержаний РЗЭ в разнофациальных четвертичных отложениях перигляциальной зоны России.

Практическая и теоретическая значимость работы несомненны. Теоретическое обоснование использования геохимических индексов и особенностей фракционирования РЗЭ важны для палеогеографических реконструкций. Разработанная методика выявления геохимических характеристик отложений по геохимическим спектрам РЗЭ костных остатков, включая подъем-

ные экземпляры, представляет интерес для палеонтологов и стратиграфов. Автором получены новые аналитические данные, расширяющие возможности реконструкций природной среды и климата плейстоцена Восточной Сибири. Примечательно, что отдельные разработки диссертации уже использованы при геологическом картировании, они явились частью крупных междисциплинарных программ и проектов, были поддержаны грантами РФФИ и РНФ.

Работа является **итогом двадцатилетних исследований автора** в различных мерзлотных регионах России. Изложенные в диссертации научные результаты и выводы полностью принадлежат автору и получены при ее непосредственном участии в ряде научно-исследовательских проектов. Они апробированы на многочисленных международных и российских совещаниях.

Основные идеи диссертационной работы опубликованы в 58 работах: 22 статьи из списка ВАК (в т.ч. 12 - в журналах, индексируемых Web of Science и Scopus; 5-Scopus и Ринц, 6-Ринц), 3 статьи в научных журналах, 33 в сборниках материалов международных, всероссийских и региональных научных конференций.

Автор на защиту выносит следующие положения:

- 1. Изменения в спектрах распределения редкоземельных элементов в глинистой фракции отложений разрезов криогенных толщ, выраженные в деплетировании легких членов спектра, являются индикатором процессов криогенеза. Они установлены во всех изученных разрезах и связаны с особенностями перераспределения РЗЭ между твердой и жидкой фазой в профиле криогенной коры выветривания.*
- 2. Характер распределения редкоземельных элементов в ископаемых костных остатках служит индикатором палеоэкологических условий фоссилизации и является диагностическим признаком стратиграфической принадлежности палеонтологических объектов, сохраняющимся при их переотложении.*
- 3. Проявленный в спектрах редкоземельных элементов глинистой фракции рыхлых отложений изученных разрезов плейстоцена Восточной Сибири тетрадный эффект фракционирования лантаноидов зависит от обстановки осадкообразования. Тип и величина тетрадного эффекта служит показателем физико-химических и палеоклиматических условий осадконакопления.*
- 4. Ассоциации палеоэкологических индикаторов, характеризующих распределение РЗЭ в покровных отложениях Восточной Сибири, исследованные автором по направлению меридионального трансекта (архипелаг Де-Лонга - оз. Байкал), обладают слабой изменчивостью, что в сопоставлении с биостратиграфическими данными свидетельствует о существовании в этой части криолитозоны в неоплейстоцене - голоцене открытых ландшафтов.*

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованных источников (816 наименований). Общий объем работы - 409 страниц, включая 40 таблиц и 141 рисунок. Текст диссертации сопровождается Приложением на 85 с.

Во **Введении**, в стандартной форме, обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, приведены сведения об объеме фактического материала, научной новизне, значимости и апробации результатов работы.

В **Главе 1 «Условия формирования полярного покровного комплекса»** приведена обзорная характеристика четвертичного покрова Восточной Сибири, описаны фациальные обстановки и источники вещества. Особый акцент сделан на характеристике арктического покровного комплекса и отложений ледового комплекса. С критической стороны анализируются концепции формирования ледового комплекса. Приведен обзор материалов предшественников по генетическим реконструкциям криогенных кор выветривания, охарактеризованы представления о физико-химических процессах, протекающих в природных объектах при отрицательных температурах.

В **Главе 2 «Методика палеоэкологических реконструкций»** изложен общий методический подход при геохимических исследованиях с целью палеоклиматических реконструкций. Автором предложено последовательное использование геохимических индикаторов – от характеристики условий выветривания на водосборах и оценки общего состава областей мобилизации рыхлого материала до выделения палеоклиматических маркеров условий диагенеза осадков, для чего обосновываются геохимические коэффициенты, отражающие особенности фракционирования редкоземельных элементов.

Важной частью главы является разработка методики стратиграфической идентификации подъемного палеонтологического материала для выявления переотложенных костных остатков и определения их первоначального залегания.

В **Главе 3** «Индикационные возможности лантаноидов для реконструкции условий седиментогенеза и диагенеза осадков» характеризуются возможности использования редкоземельных элементов для восстановления различных климатозоологических обстановок. Рассмотрены причины изменчивости РЗЭ в природных водах, в ископаемых льдах, почвах криолитозоны.

Показано, что особенности распределения РЗЭ в глинистой фракции рыхлых отложений в зоне криолитогенеза, являются показателями физико-химических условий осадконакопления и палеоклиматических обстановок. Для интерпретации данных автор использует целый ряд геохимических коэффициентов, отношений, индексов включая: $\Sigma(\text{РЗЭ}+\text{Y})$, а также суммы легких, средних и тяжелых элементов; отношение $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$; величину цериевой и европиевой аномалии; отношение $\text{LPЗЭ}/\text{TPЗЭ}$; отношения La/Yb , La/Sm , Y/Ho ; тетрадный эффект (T_i), включая величины тетрадного эффекта лантаноидов для отдельных тетрад и суммарного тетрадного эффекта. Результаты определений отображаются графически в виде спектра нормированных содержаний РЗЭ на состав лантаноидов в северо-американском сланце (NASC). Характер распределения РЗЭ, фиксируемый на графиках, является уникальной чертой для различных фаций четвертичных отложений.

В **Главе 4** «Палеоэкологическая интерпретация распределения лантаноидов в ископаемых костных остатках» детально на основе авторских данных и обзора обширного литературного материала анализируется геохимия ископаемых костных остатков. Автор приводит данные по общему составу и строению костей, оценивает содержания РЗЭ и их изменение в исходном состоянии и в процессе фоссиллизации. Показано, что в зоне криолитогенеза, состав РЗЭ на различных расстояниях от поверхности кости не меняется, что важно для установления идентификационных признаков. В то же время, по уровню содержания РЗЭ костные остатки отличаются от пород в результате диагенетических преобразований костного материала. Разработанная автором методика стратиграфической привязки костей по композициям РЗЭ основана на способности ископаемых костей сохранять после переотложения отпечаток уникальных композиций РЗЭ вмещающих осадков. В качестве главного критерия принадлежности фаунистических остатков к литологическим и стратиграфическим слоям предлагается использовать величину тетрадного эффекта фракционирования лантаноидов, являющуюся индикатором фациальных и климатических условий осадконакопления. Она специфична для разновозрастных отложений и может сохраняться в костных остатках, принадлежащих к различным стратиграфическим уровням. Важными индикаторами являются также величины европиевой, цериевой и диспропиевой аномалий, отношения U/Th , Y/Ho , La/Sc . Для обработки аналитического материала автор использует различные статистические методы, среди которых выделяет дискриминантный анализ.

В **Главе 5** «Палеоклиматическая интерпретация распределения геохимических маркеров в отложениях опорных разрезов плейстоцена Восточной Сибири» излагается непосредственное использование геохимических характеристик для палеоклиматических реконструкций. На обширном фактическом материале демонстрируется устойчивость палеоэкологической интерпретации опорных разрезов, образующих своеобразный геохимический трансект. Материал охватывает крупными регионами с севера на юг, включая: 1) островную структурно-фациальную зону; 2) Яно-Индибирскую низменность (местонахождение Соп-Хая (Яна-195); 3) Северное Верхоянье (разрез Улахан-Суллар); 4) Колымскую низменность; 5) аллювиальные равнины бассейна реки Лены; 6) опорные разрезы позднего кайнозоя Байкальского региона. Глава удачно построена, после типовых описаний, по каждому региону отдельно изложены выводы. Глава иллюстрируется многочисленными графиками, часть обширного материала изложена в Приложениях.

При интерпретации результатов исследований, автором использованы все личные разработки, изложенные в предыдущих главах. Хотя отдельные разрезы имеют специфические литологические особенности, автор констатирует и защищает тезис, о слабой изменчивости палеоэкологических индикаторов в исследованном трансекте.

Отметим некоторые замечания, которые, в целом, не снижают ценность и значимость проведенного исследования.

1. В диссертации анализируются результаты глинистой фракции, являющейся конечной в литогеохимическом ряду. Работа выиграла бы в методическом плане, если отразить поведение РЗЭ, включая предложенные коэффициенты, в различных «корах выветривания» всех гранулометрических фракций – от грубых литологических разностей до глин, как, например, изложено в работах Nesbitt H.W. с соавторами (1982, 1996). В таком случае применяя индикаторы РЗЭ можно более широко использовать тренд выветривания различных фракций пород.

2. Привязку подъемного костного материала к литологическим слоям необходимо проводить с крайней осторожностью, в связи с тем, что многие слои, особенно русловые фации, не выдержаны по простиранию, некоторые из них активно размываются и даже полностью размываются.

3. По нашему мнению желательно бы сгруппировать и отдельно изложить материал по всем лессовидным отложениям, происхождение которых оспаривается десятилетиями. В работе они охарактеризованы по регионам, общие закономерности которых трудно проследить.

4. Недостаточно обоснованы критерии разделения первичного геохимического сигнала от наложенного. Например, плиоцен-четвертичные отложения Колымской низменности, бассейнов рек Лены и Алдана слагают лишь самую верхнюю часть кайнозойских разрезов Нижне-Колымского прогиба и Нижне-Алданской впадины, осадки которых формировались от палеоцена до плейстоцена при различном климате, включая гумидный, и являлись источниками сноса для всех седиментационных бассейнов.

5. При аномально высоком содержании кальция в некоторых прибайкальских разрезах, использование индексов CIA и PIA некорректно.

6. В главе 5 на различных диаграммах и графиках одинаковые объекты показаны разными значками, что затрудняет визуальную интерпретацию; многие символы на рисунках выполнены очень мелко.

Автореферат и опубликованные работы соответствуют содержанию диссертации.

Таким образом, диссертационная работа «Геохимические индикаторы палеоклиматических и палеоэкологических реконструкций криогенных ландшафтов (на примере опорных разрезов плейстоцена Восточной Сибири)» соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842) для ученой степени доктора наук, а ее автор Иванова Варвара Викторовна заслуживает присуждения ученой степени доктора географических наук по специальности 1.6.14 – Геоморфология и палеогеография.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и утвержден на заседании Ученого совета №5 (858) СВКНИИ ДВО РАН (от 18.05.2023 г.).

«Я, Минюк Павел Сергеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку».

Заведующий лабораторией геологии
кайнозоя и палеомагнетизма,
Ведущий научный сотрудник
СВКНИИ ДВО РАН
к.г.-м. наук



П.С. Минюк

Минюк Павел Сергеевич
685000, г. Магадан, ул. Портовая, д. 16
Федеральное государственное учреждение науки
Северо-Восточный комплексный научно-
исследовательский Институт ДВО РАН
E-mail: minyuk@neisri.ru; Тел.: +7 914 868 3592

«Я, Михалицына Татьяна Ивановна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку».

Старший научный сотрудник
лаборатории петрологии, изотопной
геохронологии и рудообразования
СВКНИИ ДВО РАН
к.г.-м. наук

Т.И. Михалицына

Михалицына Татьяна Ивановна
685000, г. Магадан, ул. Портовая, д. 16
Федеральное государственное учреждение науки
Северо-Восточный комплексный научно-
исследовательский Институт ДВО РАН
E-mail: mihalitsina@neisri.ru; Тел.: +7 924 850 5591

Подписи Минюка П.С., Михалицыной Т.И.

завершено



*завершающей отделом кадров
Самойшиной Е. Н.
18.05.2023г.*