

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Веремеевой Александры Анатольевны

«Формирование и современная динамика озерно-термокарстового рельефа тундровой

зоны Колымской низменности по данным космической съемки»,

представленную на соискание учёной степени кандидата географических наук по

специальности 25.00.25 – геоморфология и эволюционная география

Диссертационная работа **Веремеевой Александры Анатольевны** выполнена в лаборатории криологии почв ФГБУН Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН. Работа посвящена актуальной проблеме оценки реакции высокольдистых многолетнемерзлых пород (ледового комплекса), распространенных в арктических широтах Северного полушария, на колебания климата. С помощью дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли, их последующей статистической обработки и анализа, автором получены уникальные данные о динамике термокарста, существенно уточнены площади распространения ледового комплекса, термокарстовых озер и аласов, выявлены закономерности их формирования на территории Колымской низменности.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и трех приложений. Работа изложена на 134 страницах, содержит 16 таблиц и 65 рисунков. Список литературы содержит 227 наименований.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и основные задачи исследований, охарактеризована их научная новизна, перечислены защищаемые положения. Здесь же приводится оценка практической значимости и апробации выполненной автором работы, краткие сведения о методах и материалах, личном вкладе автора и список публикаций по теме диссертации.

**Актуальность темы** диссертации раскрыта полно и убедительно. Работа направлена на решение недостаточно изученных проблем геоморфологии и геокриологии, включая уточнение границ распространения ледового комплекса, определение темпов его деградации за исследуемый период и выполнение типизации и картографирования специфических мерзлотных ландшафтов, представляющих собой сочетание едом, аласов и термокарстовых озер.

**Основная цель работы** заключается в выявлении закономерностей динамики озерно-термокарстового рельефа в районах распространения ледового комплекса тундровой зоны Колымской низменности в голоцене по данным космической съемки.

Для достижения указанной цели Веремеевой А.А. поставлены **следующие задачи**:

- на основе использования дистанционных данных и применения ГИС-технологий разработать методику геоморфологического анализа озерно-термокарстового рельефа районов распространения ледового комплекса;
- провести картографирование четвертичных отложений тундровой зоны Колымской низменности по космическим снимкам Landsat с целью уточнения границ их площади;
- оценить площадь термокарстовых озер, выявить закономерности их динамики за голоцен;
- выделить типы озерно-термокарстового рельефа и дать их характеристику;
- установить закономерности изменения площади термокарстовых озер на основе разновременных космических снимков среднего разрешения за последние 50 лет;
- по данным аэрофото- и космических снимков сверхвысокого разрешения выявить детальные изменения озерно-термокарстового рельефа.

**Научная новизна** диссертационного исследования состоит в том, что автором впервые:

- разработана методика анализа озерно-термокарстового рельефа районов распространения ледового комплекса на основе использования дистанционных данных и ГИС-технологий;
- составлена карта четвертичных отложений тундровой зоны Колымской низменности с использованием космических снимков Landsat, соответствующая масштабу 1:200000, что позволило существенно уточнить границы ледового комплекса относительно геологической карты масштаба 1:1000000;
- выделены типы озерно-термокарстового рельефа по соотношению площади, занимаемой едомой и термокарстовыми озерами, и дана их характеристика;
- проведена оценка заозеренности тундровой зоны Колымской низменности и установлены закономерности динамики термокарстовых озер за голоцен;
- проведен анализ изменения площади и количества термокарстовых озер тундровой зоны Колымской низменности за период с 1965 по 2015 гг. и выявлены закономерности динамики площади озер на основе геолого-геоморфологического анализа территории;
- выполнен анализ межгодовой динамики термокарстовых озер за период с 1999 по 2015 гг. и проведено сопоставление изменения площади озер с метеорологическими данными;

- впервые проведен детальный анализ изменений озерно-термокарстового рельефа на основе сопоставления дистанционных данных сверхвысокого разрешения за период с 1972 по 2013 гг.

**Первая глава «Формирование озерно-термокарстового рельефа при оттаивании ледового комплекса и его современная динамика»** содержит критический обзор отечественных и зарубежных источников литературы, посвященных вопросам генезиса, динамики, распространения и типизации озерно-термокарстового рельефа, представляющего собой сложный комплекс едом, озер и аласов, который образовался в голоцене в результате разрушения ледового комплекса. Под ледовым комплексом (ЛК), вслед за П.А. Соловьевым (1959), В.Н. Конищевым (1981) и другими исследователями, автором понимаются «сингенетически промерзшие полифациальные осадки мощностью до 40-60 м преимущественно алевритового состава, включающие мощные полигонально-жильные льды». В качестве основного объекта исследования автором выбран рельефообразующий тип ледового комплекса, формирующий едомы. В главе дается подробная характеристика термокарста, под которым понимается «комплекс процессов и явлений, связанных с вытаиванием подземных льдов и сопровождающихся просадками грунта» (М.И. Сумиги и др., 1940, П.А. Соловьев и др.). Отдельного внимания также заслуживает важный вывод Т.Н. Каплиной (2009) о том, что «прекращение накопления ЛК и начало озерного термокарста совпадают по времени и соответствуют периоду примерно 13-12 тыс.л.н. Ко времени 10-8,5 тыс.л.н. аласный рельеф был уже сформирован» (с. 22). На основе этих данных в третьей главе диссертантом была рассчитана скорость деградации термокарстовых озер за голоцен и сформулировано третье защищаемое положение диссертации.

**Во второй главе «Физико-географическая характеристика тундровой зоны Колымской низменности»** приводятся данные о географическом положении района исследований. Подробно рассмотрены геологическое строение, рельеф, мерзлотные факторы, климат, поверхностные воды, почвенный и растительный покровы.

**Третья глава «Объекты и методы исследований. Дистанционные данные и ГИС-методы при изучении формирования озерно-термокарстового рельефа и его современной динамики»** содержит обоснование выбора трех ключевых участков исследования в пределах тундровой зоны Колымской низменности, а также описание методических приемов и подходов, которые автор использовал при выполнении исследований. В основу составленных картографических материалов легли космические снимки Landsat разных лет с разрешением 80 м и 8-30 м. Для анализа форм рельефа использовались топографические карты масштаба 1:200000, 1:100000, цифровая модель рельефа (ЦМР), программный пакет ENVI 4.8 и ArcGIS 9.3. Для характеристики озерно-

термокарстового рельефа автором разработана методика для анализа рельефа, учитывающую удельную площадь едом, аласов и термокарстовых озер, морфологические типы едомы, глубину расчленения рельефа. Полевые работы проводились на ключевом участке «Мыс Мал. Чукочий». Они включали ландшафтные описания на 38 площадках, с характеристикой рельефа, почвенного и растительного покрова, измерения мощности СТС.

**Четвертая глава «Закономерности формирования рельефа тундровой зоны Колымской низменности в голоцене»** посвящена раскрытию результатов изучения распространения четвертичных отложений по данным дешифрирования космических снимков, типизации озерно-термокарстового рельефа, анализа динамики термокарста и изменения заозеренности в голоцене. Важнейшим результатом является составленная автором серия карт: четвертичных отложений, едомности, заозеренности и аласности тундровой зоны Колымской низменности. На основе анализа ЦМР и сопоставления типов рельефа составлены схемы типизации озерно-термокарстового рельефа и распространения морфотипов едомы. Выведенные закономерности позволили автору сформулировать первые три защищаемых положения:

**Первое защищаемое положение:** *«На основе составленной карты четвертичных отложений тундровой зоны Колымской низменности по космическим снимкам Landsat установлено, что едома, сложенная ледовым комплексом, в значительной степени переработана термокарстом в голоцене и сохранилась на 16% территории, при этом аласы занимают 72%».*

**Второе защищаемое положение:** *«Проведена типизация озерно-термокарстового рельефа по соотношению площади, занимаемой едомой и термокарстовыми озерами, и дана его характеристика. Установлено, что наибольшая площадь едомы сохранилась на территориях, характеризующихся наибольшими значениями средних углов уклонов поверхности, относительными превышениями абсолютных высот, а также развитой гидросетью».*

**Третье защищаемое положение:** *«Выявлено, что средняя площадь термокарстовых озер (заозеренность) тундровой зоны Колымской низменности в пределах распространения ЛК составляет 14,7%. Большая часть сформированных в позднем плейстоцене – раннем голоцене термокарстовых озер спущена и существует в уже сформированных аласных котловинах. Уменьшение площади озер за голоцен составляет 82%».*

**В пятой главе «Современная динамика озерно-термокарстового рельефа тундровой зоны Колымской низменности»** на основании составленных автором карт едомности и заозеренности проведен анализ изменения заозеренности с 1965 по 2015 гг. на ключевых участках. Приводятся данные по изменению площади и количества уменьшающихся и увеличивающихся термокарстовых озер различных типов, а также суммарному изменению площади озер за данный период. Проведено сопоставление выявленных изменений площади озер с динамикой температуры воздуха и осадков по данным метеостанций с. Андрюшкино и пос. Черского. Кроме того, для ключевого участка

«Мыс Мал. Чукочий» приведены данные полевых наблюдений, оценена динамика площади участков развивающихся байджерахов. Основные выводы исследований, приведенных в данной главе, сформулированы автором в заключительных защищаемых положениях.

**Четвертое защищаемое положение:** *«Установлен тренд уменьшения площади термокарстовых озер тундровой зоны Колымской низменности за период с 1965 по 2015 гг. На территории междуречья рек Алазея и Бол. Чукочья общая площадь озер уменьшилась на 7%. Установлено, что за период 1999-2015 гг. уменьшение площади термокарстовых озер происходило быстрее, чем за период за 1965-1999 гг.».*

**Пятое защищаемое положение:** *«Взаимосвязи изменения межгодовой динамики площади термокарстовых озер с исследуемыми климатическими показателями (сумма температур воздуха за летние месяцы, количество осадков за летние месяцы, за холодный период и за предыдущий год за период с октября по сентябрь) не выявлено.».*

**Шестое защищаемое положение:** *«На основе анализа дистанционных данных сверхвысокого разрешения установлено, что с 1972 г. на фоне увеличения температуры воздуха и количества осадков за летний период увеличивается площадь и количество мелких озер на заболоченных поверхностях едомы. Увеличивается и площадь участков развивающихся байджерахов.».*

В заключении диссертации приводятся **основные выводы**, в целом, более развернуто отражающие результаты, сформулированные в защищаемых положениях.

Каждая глава отвечает своему назначению, отражает современное состояние затронутых вопросов и демонстрирует обширный материал собственных исследований автора. Диссертация написана грамотно, прекрасно оформлена, содержит большое количество рисунков и картографических материалов. Среди наиболее важных результатов, полученных автором, необходимо отметить карты четвертичных отложений, едомности, заозеренности, типов озерно-термокарстового рельефа; проведенную типизацию озерно-термокарстового рельефа; существенное уточнение площади распространения отложений ледового и аласного комплексов, а также современной динамики термокарстовых озер.

Все **основные положения диссертации** Веремеевой А.А. являются достоверными, теоретически обоснованы и подтверждены результатами детального анализа данных дистанционного зондирования, типизации форм рельефа и картографирования, и заверены натурными наблюдениями на выбранном ключевом участке. Они отражены в 20 научных публикациях автора. Из них 6 работ представлены статьями в изданиях, рекомендованных ВАК.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Диссертация Веремеевой А.А. выполнена на высоком методическом уровне, в том числе по форме подачи материала, системе доказательств, формулировок и выводов. По ходу изложения автор демонстрирует обширные знания и эрудицию в вопросах перигляциальной геоморфологии и геокриологии.

Среди общих замечаний и вопросов можно выделить следующие:

1. В Первом положении (**стр. 6**), следует уточнить, что едома была в значительной степени переработана термокарстом в раннем голоцене (как это отмечается на стр. 68), а не в течение всего голоцена, когда уже, как упоминается в диссертации, со времени климатического оптимума началось заболачивание и затухание процесса термокарста (см. стр. 69). С этой поправкой также удастся избежать противоречия с утверждением Третьего положения об уменьшении площади озер за голоцен на 82%.

2. В главе 3 (**стр. 53**), посвященной методике исследования, недостаточно четко описан механизм определения генезиса озёр, на основе которого озёра аллювиального, аллювиально-термокарстового, аллювиально-морского и морского генезиса удалялись из выборки.

3. Сделанный в главе 4 (**стр. 64**) вывод о том, что «граница распространения холмисто-останцового морфотипа, вероятнее всего, указывает на положение северного предела лесотундры в среднем и позднем голоцене», по нашему мнению, вступает в противоречие с распределением других морфотипов, которые, судя по Рис. 4.7, также встречаются у южной границы района исследований (~69°20').

4. Тот же аргумент можно применить и к выводу о том, что «наибольшая площадь едом сохранилась на территориях, испытывающих тектоническое поднятие» (**стр. 71**). Согласно Рис. 4.7 (с. 65) области поднятий в западной части района исследований лишь частично совпадают с областями максимального распространения едомы.

Редакционные замечания:

5. Стратиграфические обозначения (**стр. 53**), по нашему мнению, следует привести к форме, принятой для обозначения на геологических картах. Например, обозначение LIII<sub>2-4</sub> заменить на  $Q_{III}^{2-4}L$ ; amIV заменить на  $Q_{IVam}$  и т.д.

6. На Рис. 4.1. (**стр. 57**) цвет условного знака 7 («термокарстовые озера») подобран не совсем удачно, озера плохо читаются на фоне цвета условного знака 2 («отложения аласного комплекса»). Также, неконтрастно условное обозначение «увеличение площади озер», показанное темно-синей линией на синем фоне заливки озер, например, на Рис. 5.9 (**стр. 81**).

7. В некоторых иллюстрациях, приведенных в Главе 5, например Рис. 5.12 (**с. 86**) рекомендуется добавить расшифровку нумерации озер (белые цифры) в условные обозначения. На Рис. 5.13 (**с. 87**) и подобных, для нижнего графика отсутствуют названия осей ординат.

Сделанные замечания и поставленные вопросы носят рекомендательный характер и не снижают научной ценности диссертационной работы Веремеевой А.А.

Диссертация Веремеевой Александры Анатольевны «Формирование и современная динамика озерно-термокарстового рельефа тундровой зоны Колымской низменности по

данным космической съемки» по своему уровню и объему, по научной и практической значимости полученных результатов представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Решаемые в ней задачи важны для развития теоретических представлений об эволюции рельефа в перигляциальных областях, а с практической точки зрения представляют ценность для уточнения границ четвертичных отложений, могут быть использованы при хозяйственном освоении и прогнозировании развития территории в условиях меняющегося климата. Диссертация написана автором самостоятельно, на актуальную тему, на требуемом научном уровне и обладает внутренним единством. В ней содержатся новые достоверные научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, а также отражен личный вклад автора. Работа соответствует требованиям п.п. 9 и 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842.

Диссертационная работа «Формирование и современная динамика озерно-термокарстового рельефа тундровой зоны Колымской низменности по данным космической съемки» отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Веремеева Александра Анатольевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.25 – Геоморфология и эволюционная география.

Официальный оппонент  
Заведующий лабораторией общей  
геокриологии Института мерзлотоведения  
им. П.И. Мельникова СО РАН  
кандидат географических наук  
11.09.2017 г.



*Спектор*

Спектор Валентин Владимирович

Подпись заверяю  
И.о. директора, д.г.н.



*Григорьев*

Григорьев М.Н.

Наименование и адрес организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук (ИМЗ СО РАН); Россия, 677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36. Тел.: 8(4112) 334476, 390891; e-mail: mpi@ysn.ru, vvspector@mpi.ysn.ru