

На правах рукописи



**Санников Георгий Сергеевич**

**ИЗМЕНЕНИЯ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЁР ЗАПАДНОГО ЯМАЛА КАК ИНДИКАТОР  
ДИНАМИКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ И ЕЁ РЕАКЦИИ НА  
ТЕХНОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ  
(на примере Бованенковского месторождения)**

Специальность 25.00.08 – инженерная геология, мерзлотоведение и  
грунтоведение

автореферат диссертации на соискание учёной степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Тюмень,  
2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении  
науки Институте криосферы Земли Сибирского отделения Российской  
академии наук

**Научный  
руководитель:** доктор геолого-минералогических наук, старший  
научный сотрудник Дроздов Дмитрий Степанович,  
ФГБУН Институт криосферы Земли СО РАН  
заместитель директора

**Официальные  
оппоненты:** доктор геолого-минералогических наук,  
Комаров Илья Аркадьевич, ФГБОУ ВО «Московский  
государственный университет имени М.В.  
Ломоносова», профессор геологического факультета  
  
кандидат технических наук  
Губарьков Анатолий Анатольевич,  
ФГБОУ ВО «Тюменский государственный  
нефтегазовый университет», научный сотрудник

**Ведущая  
организация:** ОАО «Фундаментпроект», г. Москва

**Защита диссертации состоится:** «24» мая 2016 г., в 10 часов на заседании  
диссертационного совета Д 003.042.02 при Институте криосферы Земли СО  
РАН по адресу 625026, г. Тюмень, ул. Малыгина, д.86.

Автореферат размещен на интернет-сайтах Института криосферы Земли СО РАН  
[http://www.ikz.ru/about/dissertation\\_council](http://www.ikz.ru/about/dissertation_council) и Министерства образования и науки  
Российской Федерации <http://vak.ed.gov.ru>. С диссертацией можно ознакомиться в  
библиотеке Института криосферы Земли СО РАН по адресу: Россия, Тюмень, ул.  
Таймырская, 74 и на сайте ИКЗ СО РАН [http://www.ikz.ru/about/dissertation\\_council](http://www.ikz.ru/about/dissertation_council)

Отзывы на автореферат, заверенные печатью учреждения, просим направлять  
по адресу: 625000, г. Тюмень, а/я 1230, факс 8(3452)688-787;  
e-mail: Yakimov\_Artem@mail.ru

Автореферат разослан «24» марта 2016 г.

Секретарь диссертационного совета,  
кандидат географических наук

 А.С. Якимов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Активное освоение газовых месторождений на полуострове Ямал ставит задачу оценки динамики и прогноза современных экзогенных геологических процессов, протекающих вблизи объектов газодобывающей промышленности.

Цель диссертации – анализ динамики термокарстовых озер в пределах исследуемого района на п-ове Ямал, выявление факторов, влияющих на изменение площадей озер, определение связей между динамикой термокарстовых озёр и комплексом геологических процессов, протекающих в различных частях района исследования, а также оценка возможности использования динамических показателей термокарстовых озер для оценки устойчивости геологической среды к техногенезу.

Районом исследования – ключевым участком – была выбрана территория Бованенковского газового месторождения. Такой выбор был обусловлен тем, что это район наиболее активного освоения Ямала. Кроме того, это район основных производственных полевых исследований автора, что важно для верификации научных результатов.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие задачи:

- разработать методику исследований динамики термокарстовых озер по различным материалам (топокартам, аэрофотоснимкам, космическим снимкам), обеспечивающую достоверное сопоставление столь разнообразных исходных данных, надежность их дешифрирования, учет погрешности определения площади озер по ним (с учетом достижений и методов предшественников);
- выявить основные особенности и факторы, определяющие динамику термокарстовых озер в пределах Бованенковского ключевого участка;
- выявить связи между различными направлениями развития и деградации термокарстовых форм рельефа с одной стороны и различными

комплексами современных типов экзогенных геологических процессов – с другой;

– оценить воздействие техногенеза на динамику термокарстовых форм рельефа. Провести районирование ключевого участка по типам динамики термокарстового рельефа и комплексам современных экзогенных геологических процессов.

Методы исследования. Работа основана на анализе динамики термокарстовых озер, проводившихся автором путем сопоставления разновременных материалов – топокарт, аэрофотоснимков, космических снимков, составленных и полученных в период 1979 – 2009 гг. В исследовании были применены аэрокосмические, геоинформационные, картографические, картометрические и статистические методы. Для верификации полученных результатов проводились прямые маршрутные наблюдения за проявлением криогенных экзогенных геологических процессов, использовались производственные полевые материалы, полученные на территории Бованенковского месторождения.

Использованные материалы и личный вклад автора. Апробация работы. В качестве основных материалов для изучения динамики термокарстовых озер использованы: топографическая карта масштаба 1:100 000 издания 1979 г.; аэрофотоснимки масштаба 1:10 000 залёта 2003 г.; космические снимки сверхвысокого пространственного разрешения со спутников GeoEye и QuickBird 2009 г. В рамках работ, выполняемых ООО ГП «Промнефтегазэкология», в период 2004-2014 гг. с участием автора и под его руководством были выполнены исследования экзогенных геологических процессов на Бованенковском месторождении. Результаты работ собраны в Технических отчётах, хранящихся в фондах ОАО «ВНИПИГаздобыча», ООО «Газпром добыча Надым», ЗАО «Сервисный центр СБМ». Помимо создания технических отчётов, данные и результаты, полученные автором в ходе исследований динамики термокарстовых озёр и современных экзогенных процессов, также были опубликованы в сборниках тезисов научных

конференций: «Гидрогеология, инженерная геология, геокриология и геоэкология Забайкалья и сопредельных территорий» Чита, 2008 г.; «Теория геоморфологии и ее приложение в региональных и глобальных исследованиях. Чтения памяти Н.А. Флоренсова». Иркутск, 2010 г.; «Десятая Международная конференция по мерзлотоведению». Салехард, 2012 г.; «Геоморфология и картография. XXXIII Пленум Геоморфологической комиссии РАН». Саратов, 2013 г.; «Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы» Тюмень, 2015 г.

Защищаемые положения:

- 1) Модифицированная методика исследований динамики термокарстовых озер по различным материалам (топокартам, аэрофотоснимкам, космическим снимкам), основанная на сочетании ручного дешифрирования материалов сверхвысокого разрешения и статистической обработки конфигурации береговых линий, позволяет добиться большей точности и детальности результатов исследования.
- 2) Динамика термокарстовых форм зависит от приуроченности к геоморфологическим уровням или их обособленным частям. При этом отдельные участки пойм характеризуются частым появлением и исчезновением малых термокарстовых озёр, что свидетельствует о перестройке речной сети, и, следовательно, – о неустойчивости геологической среды и геокриологических условий на этих отдельных участках.
- 3) Частота появления/исчезновения малых термокарстовых озёр контролируется средней теплопроводностью верхних пяти метров разреза мёрзлой толщи и геоморфологическим уровнем и мало зависит от льдистости, температуры пород и типа растительных сообществ на поверхности.
- 4) Основным видом техногенного воздействия на геологическую среду Бованенковского месторождения является изменение режима поверхностного и грунтового стока, приводящее к активизации/затуханию термокарстового

процесса, индикатором чего является изменение количества малых термокарстовых озёр.

#### Новизна работы

- 1) Модифицирована методика исследований динамики термокарстовых озёр по различным материалам (ручная оцифровка контуров озёр с последующей статистической обработкой), что позволяет детализировать изменения природной среды;
- 2) Модифицирована база пространственно-временных данных границ термокарстовых озёр исследуемого участка, включающая малые озёра, не учитываемые при автоматизированном дешифрировании;
- 3) Впервые доказано, что современный термокарст на пойме в зоне хозяйственного освоения Ямала активен и развивается за счёт протаивания малоальдистых отложений, хотя и не формирует объёмных и крупных озёр;
- 4) Впервые предложен количественный индикатор степени техногенного воздействия на геологическую среду Ямала - интенсивность изменения коэффициента встречаемости малых озёр.

Практическая значимость. Предложенная методика исследования динамики термокарстовых озёр может быть использована на всех территориях криолитозоны, которым свойственно широкое распространение термокарстовых форм рельефа. Выявленные факторы, оказывающие влияние на изменение площади термокарстовых озёр, рекомендуется учитывать при анализе динамики термокарстовых озёр, чтобы минимизировать вероятность ошибочных выводов о причинах наблюдаемых изменений их площадей. Методика исследования динамики термокарстовых форм, связи этой динамики с геоморфологическими уровнями и набором действующих на этих уровнях экзогенных геологических процессов может быть использована при прогнозе развития ЭГП в районах Крайнего Севера при их промышленном освоении.

Внедрение. Результаты исследований динамики термокарстовых озёр, проведённых автором в рамках научно-исследовательской работы,

выполненной в 2013-2014 гг. по теме: «Оценка пространственно-временной динамики термокарстового рельефа (озерных котловин) на территории БГКМ, ХГКМ, участка км 0-Байдарацкая СМГ Бованенково-Ухта по данным дистанционного зондирования Земли», используются как составная часть специализированной базы данных «Ямал», развиваемой ОАО «ВНИПИГаздобыча».

Структура работы. Диссертация состоит из четырёх глав, введения и заключения. Общий объём работы – 143 страницы машинописного текста. Работа содержит 48 иллюстраций, 17 таблиц, 13 приложений. Список литературных источников содержит 143 наименования.

Благодарности. Автор выражает благодарность своему научному руководителю, директору ИКЗ СО РАН, д.г.-м.н., Д.С. Дроздову за общее руководство работой и предоставленные материалы. Автор выражает глубочайшую признательность г.н.с. ИКЗ СО РАН, д.г.-м.н., Е.А. Слагоде за ценные советы, консультации и редакцию работы. Автор благодарен Академику РАН В.П. Мельникову за помощь и советы. Автор благодарит с.н.с. ТюмГНГУ, к.г.-м.н. А.Н. Курчатову за критику и помощь в редакции работы. Автор также выражает признательность сотрудникам кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова д.г.н профессору Ю.Г. Симонову и к.г.н. Ф.А. Романенко; заместителю директора ИТЦ ООО «Газпром добыча Надым» к.т.н. А.Б. Осокину; своим коллегам по работе в ООО ГП «Промнефтегазэкология»: к.г.-м.н С.Л. Дорожуковой, Г.В. Ловчук, В.В. Ловчуку, О.А. Санниковой и другим. Отдельную благодарность автор выражает директору ООО ГП «Промнефтегазэкология», своему отцу, к.г.н. С.А. Санникову за организационную и моральную поддержку в написании этой работы.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Глава 1. Обзор предыдущих работ и методика исследования

В обзоре исследований предшественников приведены сведения об истории изучения: 1) динамики многолетней мерзлоты; 2) термокарста; 3) динамики термокарстовых форм.

*Краткий обзор истории изучения динамики многолетней мерзлоты* показывает, что наблюдения за многолетнемерзлыми породами (ММП) в России берут начало в XIX веке. Важнейшая роль в обобщении данных о динамике многолетнемерзлых пород на территории России принадлежит А.В. Павлову, Г.В. Малковой, О.А. Анисимову.

В *обзоре исследований, посвящённых термокарсту*, отмечено, что данное понятие было введено в литературу М.М. Ермолаевым. Первое определение понятия, сформулированное им, звучало как «Просадочно-провальные формы, возникающие при вытаивании внутригрунтового льда». Определение термокарста как процесса впервые предложил А.И. Попов. Большое количество определений данного термина собрано в работах Д.А. Тимофеева и Ф.А. Романенко. Согласно этим определениям с понятием «термокарст» связан комплекс процессов, протекающих при неравномерной просадке дневной поверхности, возникающей в результате вытаивания подземных льдов. Особая роль в исследовании термокарста, его механизмов, распространению и геоморфологической роли принадлежит М.И. Сумгину, С.П. Качурину, Н.Н. Романовскому, Ю.Л. Шуру, В.Л. Суходровскому, Ф.А. Романенко и другим исследователям. Региональные исследования термокарста на Ямале собраны в монографиях «Природа Ямала»; «Эрозионные процессы Центрального Ямала»; «Криосфера нефтегазоконденсатных месторождений полуострова Ямал: в 3 томах» и др.

*Современное состояние исследований, посвящённых динамике термокарстовых форм* выявило, что исследования изменений форм и размеров термокарстовых озёр широко проводятся в настоящее время. Причина этого – большой интерес исследователей к реакции



многолетнемерзлых толщ на глобальные изменения климата (работы О.А. Анисимова, А.Д. Дучкова, Ю.А. Израэля, А.В. Павлова, А.А. Васильева). Одним из показателей изменений состояния мерзлоты является динамика различных термокарстовых форм. Важнейшую роль в исследованиях динамики и индикационной роли озёр играют работы Н.А. Брыксиной, В.П. Днепровской, С.Н. Кирпотина, В.И. Кравцовой, Ф.А. Романенко, Т.В. Родионовой, L.C. Smith.

Исследования предшественников, обладая несомненной научной и практической ценностью, характеризуются некоторыми ограничениями по точности и детальности. Основная причина этого – материалы, используемые в качестве исходных данных. В большинстве своём они представляют собой снимки со спутника Landsat, которые, обладая многими достоинствами, имеют и недостатки, прежде всего – относительно низкое пространственное разрешение (не превышает 15 м на точку). Такое разрешение ведёт к потере существенной части информации, т.к. значительное количество термокарстовых озёр имеют размеры, сопоставимые с этой цифрой. Еще одной особенностью большинства (за исключением работ Ф.А. Романенко) приведённых исследований является то, что озёра и их динамика изучались в отрыве от их геоморфологического положения. Зависимость формы, размеров и других параметров озёр с их геоморфологическим положением отмечается во многих работах, но изучения связи их динамики с положением в рельефе ранее проводилось ограниченно.

Итак, выявленные нами недостатки существующих работ заключаются, прежде всего, в следующем:

- отсутствие связи между исследуемыми термокарстовыми формами и их геоморфологическим положением;
- отсутствие исследований, проведённых в крупном масштабе в зоне сплошного распространения ММП;

– устойчивый тезис о том, что на поверхности поймы термокарст слабо распространён и обладает низкой интенсивностью.

*Методика исследования динамики термокарстовых форм,* используемая в нашей работе, позволяет избежать ограничений, заложенных в работах предшественников. Исследование включало в себя:

– Изучение закономерностей пространственно-временной динамики термокарстовых озёр по материалам дистанционного зондирования Земли разных лет;

– Оценку устойчивости геологической среды исследуемой территории по признаку распространения озёр того или иного размера;

– Интерпретацию полученных результатов с учётом приуроченности разных динамических трендов к разным геоморфологическим поверхностям;

– Соотнесение полученных результатов с данными о литологическом строении и геокриологических условиях верхней части разреза горных пород;

– Разработку выводов.

*Картометрические исследования и районирование территории* проведено в несколько этапов. Первым этапом исследования этих характеристик стал анализ топографической карты масштаба 1:100 000 на район исследования и составление морфометрических карт. Для характеристики интенсивности современных экзогенных процессов, протекающих на территории Бованенково, нами были выбраны следующие основные характеристики: геоморфологический уровень; заозёрность; густота морфоэлементов (озёрных котловин). Выбор этих параметров обоснован следующими причинами:

- 1) распространённость озёр по всей территории исследования;
- 2) неравномерное распространение озёрных котловин по участку, позволяющие судить о причинах этой неравномерности;
- 3) разнообразие форм и размеров озёр, являющееся результатом воздействия разных по характеру и интенсивности экзогенных процессов.

Вычисление данных параметров производилось по регулярной сетке квадратов с шагом 2 км (площадь квадрата, таким образом, составляла 4 км<sup>2</sup>). Выбор такого квадрата обусловлен размерами самых крупных озёр участка, т.к. в случае меньшей площади квадрата, наиболее крупные озёра занимали бы его целиком. Таким образом, размер квадрата – наименьший из возможных.

Расчёт коэффициента заозёрности производился по формуле  $K_{заоз} = S_{оз} / S$ , где  $S_{оз}$  – площадь озёрных котловин, приходящихся на квадрат, а  $S$  – площадь квадрата. Расчёт густоты морфоэлементов производился по формуле  $K_{гор. расч} = N / S$ , где  $N$  – количество озёрных котловин, приходящихся на квадрат. Размерность этого коэффициента – 1/км<sup>2</sup>.

Для получения данных о пространственно-временной динамике термокарстового рельефа (озерных котловин) на территории Бованенковского месторождения был применён метод повторного дешифрирования контуров озёр по разновременным материалам дистанционного зондирования Земли, а также по топографическим картам. За статистически значимый шаг перемещения береговой линии было взято 10 м – т. е. 0,1 мм на карте. Кроме того, из выборки были исключены озёра, чья площадь составила менее 1800 м<sup>2</sup> – т.е. минимальной площади озёр, выделенных на топокарте.

Для исследования были использованы следующие исходные данные: 1) топографическая карта масштаба 1:100 000 с последним уточнением ситуации от 1979 г.; 2) аэрофотоснимки залёта августа 2003 г масштаба 1:14 000; 3) космические снимки Quickbird и GeoEye 2009 г, разрешением 0,6 м.

Результаты повторного дешифрирования были обчислены по ряду статистических показателей. Обчисленными параметрами стали: общая площадь озёр в пределах исследуемой территории; общее количество озёр; количество и площадь озёр различного размера. Помимо чисто картометрических работ, на ключевых участках было проведено сравнение полученных результатов с данными полевых исследований, проводившихся, в том числе, и после 2009 г. Кроме этого, проводилось сопоставление

результатов картометрических измерений с геокриологическими данными, полученными из литературных и фондовых источников.

В качестве основного диагностического признака динамических характеристик термокарстового рельефа было избрано изменение коэффициента заозёрности, рассчитанное по квадратам регулярной сетки с шагом в 2 км. Для отображения этого изменения был построен комплект картограмм, на которые была вынесена следующая информация: 1) среднегодовые изменения  $K_{\text{заоз}}$  в периоды 1979-2003 и 2003-2009 гг.; 2) модуль разности  $K_{\text{заоз}}$  в периоды 1979-2003 и 2003-2009 гг.

Кроме того, был посчитан и вынесен на карту коэффициент встречаемости ( $K_{\text{гор.расч.}}$ ) озёр малого (до 5000 м<sup>2</sup>) размера, и его изменения за периоды 1979-2003 гг. и 2003-2009 гг. Значения этого коэффициента также были сопоставлены со значениями льдистости верхней части разреза горных пород путём вычисления коэффициента корреляции.

Полученные картограммы были наложены на генерализованную до двух выделов (водоразделы и склоны; пойма и озёрные террасы) геоморфологическую карту.

## **Глава 2. Факторы природной среды, влияющие на динамику озёрных котловин Западного Ямала**

В данной главе сделан обзор основных параметров природной среды исследуемого участка, способных повлиять на изменчивость озёрных котловин.

В *орографическом* отношении исследуемая территория представляет собой плоскую низменную террасированную равнину. В структуре равнины выделено два гипсометрических уровня (с амплитудой абс. высот от 0,5–8,9 м на низких поймах до 40,5 м на местных водоразделах). В *рельефе* района исследования нами выделены: водораздельные поверхности, представленные неразделённым комплексом III-ей морской и II-й лагунно-морской террас; склоны различной крутизны; группа форм денудационного рельефа; долинные комплексы крупных рек, включающие в себя сложно построенную пойму и

русловые формы. Строение рельефа отражено на Геоморфологической карте (Приложение 1 к диссертации).

Нами рассмотрена верхняя часть *геологического разреза*, сложенная толщей плейстоцен-голоценовых и современных отложений. Осадки средне-верхнеплейстоценового возраста представлены салехардской и казанцевской свитами.

Литологический состав верхнеплейстоценовых отложений характеризуется преобладанием тонкодисперсных, в т. ч. глинистых разностей. Ещё одной характерной особенностью толщи верхнеплейстоценовых морских отложений является наличие в них мощных залежей подземных льдов. Они залегают на глубине от 2-5 до 8 м от дневной поверхности и имеют мощность от нескольких метров до 40-50 м.

В составе отложений верхнеплейстоцен-голоценового возраста выделены: аллювиальные отложения II надпойменной террасы (Q<sub>III-IV</sub>); озерные отложения (Q<sub>III-IV</sub>); делювиально-солифлюкционные отложения (Q<sub>III-IV</sub>); аллювиальные и аллювиально-морские отложения (Q<sub>IV</sub>); биогенные отложения (Q<sub>IV</sub>); эоловые отложения (Q<sub>IV</sub>). Характерными особенностями их литологического состава являются: преобладание тонкодисперсных разностей в целом по разрезу и по площади; малая распространённость песков в приповерхностных частях разреза; значительное содержание пылевой фракции в песках и супесях; малые мощности торфа (не более 0,5 м) и ограниченные (хотя и многочисленные) ареалы распространения торфяных грунтов.

Район отличается суровым *климатом*: безморозный период продолжается в среднем с начала июля по конец августа, а средние июльские температуры у поверхности земли составляют всего 5-7°C. Продолжительность безморозного периода 55-60 дней. Среднегодовая температура воздуха изменяется от -7,1 до -11,7°C, составляя в среднем -9,7°C. Годовое количество осадков колеблется от 280 до 340 мм, с максимумом в сентябре и превышает испарение (менее 100 мм), создавая условия

избыточного увлажнения. Учитывая цель нашего исследования, следует упомянуть о межгодовой динамике количества осадков, имеющей прямое влияние на количество воды, а значит – и на площадь озёр. Суммы осадков приведены в табл. 1.

Таблица 1. Суммы осадков (мм) исследуемых временных срезов по данным метеостанции Марре-Сале

Срез	Ноябрь предыдущего года - апрель изучаемого года	Май-июль изучаемого года	Январь-июль изучаемого года	Сумма
1	2	3	4	5
1979 г.	130,9	104,2	202,0	265
2003 г.	нет данных	90,2	120,4	-
2009 г.	153,7	221,2	165,2	338,2

Из табл. 1 заметно, что наибольшее увлажнение характерно для 2009 г. 2003 г является наиболее «сухим», однако, учитывая отсутствие данных за 2002 г., говорить об этом можно лишь с известной долей уверенности.

Характерными чертами *гидрологических условий* участка являются: высокая заболоченность территории (около 60%); относительно высокая густота овражно-балочной сети (1-11,9 км/км<sup>2</sup>); полярный тип гидрографов рек с основным объёмом стока (80-90%), приходящимся на период половодья.

Исследуемый участок находится в зоне сплошного распространения *многолетнемерзлых пород*. Температуры на глубине нулевых годовых амплитуд по разным источникам варьируют в диапазоне от -1 до -9°С, с преобладанием значений от -3 до -7°С. Распределение температур носит сложный характер и зависит от ландшафтных условий. Отмечается увеличение температуры пород при снижении геоморфологического уровня.

Мерзлые породы водораздельных равнин характеризуются различным содержанием льда-цемента и ледяных включений в виде шпиров и макроструктурных образований. В приповерхностной части разреза сконцентрированы колоссальные залежи ископаемых пластовых льдов и ледовый комплекс с мощными повторно-жильными льдами. Сезонное протаивание грунтов начинается в июне и продолжается до конца сентября. В

октябре начинается промерзание сезонного слоя, которое полностью завершается к середине декабря. Наиболее типичные мощности сезонного слоя – 0,3-0,8 м на переувлажнённых участках и 0,8-1,5 м на дренированных. На участках осушения озёр происходит новообразование ММП.

На исследуемом участке нами были выделены *процессы* термокарста, морозобойного растрескивания, криогенного пучения, термоэрозии, термоабразии, русловой эрозии, овражной термоэрозии, солифлюкции, криогенного оползания, дефляции и аккумуляции речных и озёрных отложений. Механизм развития процессов и особенности их проявления на исследуемом участке подробно разобраны в диссертации. Местоположение участков развития ЭГП отображено на Карте современных рельефообразующих процессов (Приложение 2 к диссертации).

### **Глава 3. Результаты исследований динамики термокарстовых озёр и их интерпретация**

При изучении картограмм, методика построения которых изложена в Главе 1, нами был выявлен ряд закономерностей в развитии термокарстовых озёр на различных геоморфологических уровнях.

Несколько трендов было выявлено по результатам анализа *динамики изменения площадей озёр* в зависимости от их расположения в пределах того или иного геоморфологического выдела.

Прежде всего, заметно общее уменьшение площади, занятой озёрами, в период 1979-2003 гг. За это время площадь озёр на исследуемом участке уменьшилась на 4% (рис. 1). Такое уменьшение произошло за счёт изменения площадей крупных и крупнейших озёр, как на водоразделах, так и на пойме (рис. 2). Такие изменения могут свидетельствовать об изменении баланса осадков, о зарастании крупных озёр, в некоторых случаях – о спуске озёр в результате эрозионной деятельности временных и постоянных водотоков. Кроме того, нельзя исключать климатический фактор, и данные об осадках, приведённые нами в Главе 2, свидетельствуют о том, что именно этот фактор

оказывает наиболее значительное влияние на площади крупных и крупнейших озёр.

В то же время наблюдается стабильное увеличение площади малых и средних озёр на низких геоморфологических уровнях. Увеличение между временными срезами составляет 2,8% на отрезке 1979-2003 гг. и 12% на отрезке 2003-2009 гг.

Из приведённых графиков видно, что общая площадь озёр чётко контролируется площадью крупных и крупнейших озёр. Малые и средние озёра не оказывают значимого влияния на численное значение заозёрности.

При анализе картограмм модуля разности  $K_{заоз}$  за периоды 1979-2003 гг. и 2003-2009 гг. обращает на себя внимание различие в динамике этого показателя между пойменными и водораздельными участками. Водоразделы являются стабильными в плане динамики заозёрности участками как на отрезке 1979-2003 гг., так и в промежутке 2003-2009 гг. Значения  $|\Delta K_{заоз}|$  не превышают там 0,01-0,05. Поймы, напротив, демонстрируют достаточно высокие значения  $|\Delta K_{заоз}|$ , составляющие, на некоторых участках 0,1-0,5 и даже более 0,5, как на отрезке 1979-2003 гг., так и 2003-2009 гг. Обращает на себя внимание то, что участки с активным изменением  $|\Delta K_{заоз}|$  остаются неизменными. Это пойма р. Сеяха близ слияния с р. Мордыяхой (южная часть района), два участка высокой поймы р. Юнетаяха (центральная часть района).

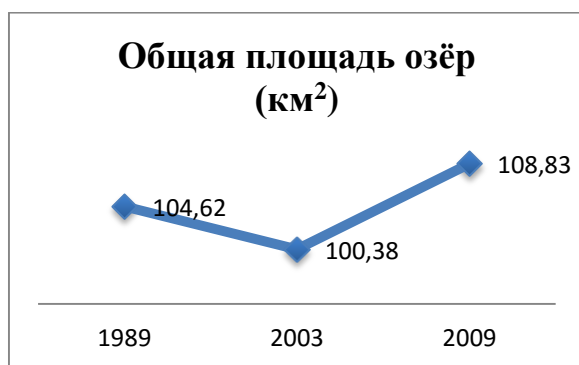


Рисунок 1 Изменение общей площади озёр за период 1979-2009 гг.



Рисунок 2 Изменение площади крупных и крупнейших озёр за период 1979-2009 гг.

Динамика коэффициента густоты (встречаемости) малых озёр была проанализирована для того, чтобы выявить образование новых



термокарстовых форм. В группу «малых» нами были отнесены озёра с площадью 1800-5000 м<sup>2</sup>. Изучение картограмм разности коэффициентов встречаемости малых озёр показало, что наиболее динамичными в плане появления новых малых озёр и исчезновения старых являются участки поймы. В период 1979-2003 гг. количество малых озёр, в основном, увеличивалось, в то время, как в 2003-2009 гг., наоборот – убывало.

Для выявления факторов природной среды, влияющих на динамику термокарстовых озёрных котловин, нами было выполнено сопоставление следующих параметров природной среды в пределах «динамичных» квадратов: льдистость верхней части разреза горных пород; температура ММП; литологический состав верхней части разреза; геоморфологический уровень; растительность; средняя теплопроводность верхней части разреза горных пород. Сопоставление проводилось по квадратам, для которых  $|\Delta K_{густ}| > 1,15$ , как в период 1979-2003 гг., так и в период 2003-2009 гг. Кроме того, было взято несколько фоновых квадратов, в которых  $K_{густ}$  оставался неизменным за весь период наблюдений. Результаты сведены в таблице, приложенной к диссертации. Различные параметры были сопоставлены и проанализированы. Приведём выводы, полученные в результате этого анализа.

Связь между льдистостью горных пород и динамикой малых термокарстовых озёр выявлена нами не была. Низкие значения льдистости на динамичных квадратах выявлены потому, что большая часть этих квадратов располагается в пределах пойменных участков, для которых такие значения льдистости как раз характерны. Следовательно, низкие значения льдистости являются не фактором развития термокарста, а лишь показателем того, что исследуемый квадрат находится в пределах поймы. Отсутствие связи между льдистостью и динамикой термокарстовых озёр подтверждается значениями коэффициента корреляции, близкими к нулю (-0,003 и -0,007).

Значения температуры ММП примерно одинаковы в пределах как стабильных, так и динамичных участков. Обращает на себя внимание тот факт, что на стабильных участках, по сравнению с динамичными, температура

ММП выше в верхней части разреза и ниже – в нижней. Не подвергая сомнению теоретически и практически доказанную множеством исследований зависимость интенсивности термокарста, как процесса, от температуры пород, можно говорить о том, что процесс формирования и исчезновения малых озёр имеет лишь отчасти термокарстовую природу, и зависит не только от геокриологических условий, но и от иных факторов.

Преобладающими литологическими разностями в пределах динамичных квадратов являются пылеватые пески и супеси, фациально замещающие друг друга. Для стабильных квадратов доминирующими разностями также остаются пески и супеси, однако на водораздельных участках выходят глины и суглинки, что практически не характерно для динамичных квадратов.

Значения средней теплопроводности верхних 5 м и 10 м разреза (методика расчёта приведена в диссертации) заметно отличаются друг от друга. В Таблице 2 приведены значения осредненной  $\lambda_f$  для различных типов квадратов.

Таблица 2. Значения осредненной  $\lambda_f$  на мощностях 10 и 5 м для различных типов квадратов.

Тип квадратов	Осредненная $\lambda_f$ Вт/(м × °С) для 10-метровой толщи		Осредненная $\lambda_f$ Вт/(м × °С) для 5-метровой толщи	
	Диапазон	Среднее	Диапазон	Среднее
1	2	3	4	5
Динамичные в период 1979-2003 гг.	1,72-2,03	1,95	1,7-1,93	1,86
Динамичные в период 2003-2009 гг.	1,27-2,03	1,91	1,70-2,05	1,88
Стабильные	2,00-2,01	2,01	1,89-2,12	1,98

Выявлена разница между значениями осредненной  $\lambda_f$  10-метровой и 5-метровой толщ у стабильных и динамичных квадратов. Теплопроводность отложений, слагающих стабильные участки закономерно несколько выше, чем на участках динамичных. Кроме того, в пределах стабильных квадратов уже диапазоны значений осреднённой теплопроводности как 10-, так и 5-метровой толщ.

Отличия теплопроводности отложений динамичных и стабильных квадратов, выявленные при анализе табл. 3.4 вероятно приводят к тому, что в пределах динамичных квадратов на менее теплопроводных грунтах происходит более интенсивное растепление грунтов верхней части разреза, а следовательно – термокарст. Это нашло своё отражение в количестве вновь образованных малых озёр. Однако, нельзя не отметить, что разница значений теплопроводности стабильных и динамичных квадратов не так уж и велика, что опять же подводит к мысли о том, что появление/исчезновение малых озёр имеет лишь отчасти термокарстовую природу и в значительной степени контролируется другими факторами.

Виды растительных сообществ, выделенные в пределах динамичных и стабильных квадратов, просто соответствуют геоморфологическим уровням и положению урочища в ландшафтной катене. Их влияния на динамику малых озёр нами не отмечено.

Стабильные квадраты равномерно распределены по высоким и низким геоморфологическим уровням. Среди динамичных квадратов преобладают участки, расположенные на средней пойме. Особенно это преобладание заметно среди участков, динамичных в период 2003-2009 гг. Среди участков, чья активность проявилась в период 1979-2003 гг., выделяются как пойменные, так и водораздельные поверхности.

В диссертации предложен механизм развития малого термокарстового озера, состоящий из трёх этапов – возникновения, развития и стабилизации, спуска. Окончательным результатом этого процесса является переувлажнённая западина, подверженная процессам криогенного пучения и заболачивания. По нашим представлениям, частое возникновение и исчезновение малых озёр, выражаемое изменением  $K_{густ}$ , может иметь две причины:

1. Активная перестройка речной сети. В результате неё в пределах долин возникают пойменные озёра, модифицируемые термокарстом. Эти озёра успешно перелетовывают несколько лет, а затем быстро спускаются за

счёт разрушения бортов, термоэрозионного прорыва перемычек или заваливаются склоновым материалом. В это же время образование озёр идёт на смежном участке.

2. Деятельность человека, в результате которой нарушается почвенно-растительный покров, режим стока, а также тепловой баланс верхней части разреза ММП.

#### **Глава 4. Оценка техногенного воздействия на геологическую среду исследуемого участка**

Бованенковское месторождение – одно из крупнейших осваиваемых газовых месторождений России. Очевидно, что сооружение газопромысловых объектов оказало влияние на геологическую среду изучаемого района.

Оценке воздействия строительства нефте- и газопромысловых объектов на геокриологические условия Ямала и криолитозоны в целом посвящено множество работ. Особое значение имеют работы В.Т. Трофимова, В.П. Марахтанова и Г.А. Крючковой, Г.И. Гривы, К.С. Воскресенского, А.П. Попова и других учёных. В этих работах предложены различные схемы типизации техногенных воздействий. В нашем исследовании мы остановились на подходе, предложенном Г.И. Гривой. Данный подход подразумевает подразделение техногенного воздействия на ММП на две группы: 1) изменение условий тепловлагообмена на контакте «грунт-атмосфера»; 2) прямое воздействие на массив мерзлых пород. На территории исследуемого участка влияние техногенного фактора на интенсивность современных экзогенных геологических процессов заключается в следующем: 1) нарушение почвенно-растительного слоя; 2) изменение режима снегонакопления; 3) изменение поверхностного и грунтового стока. Освоение месторождения воздействует практически на все процессы, выявленные на исследуемом участке. В тексте диссертации приведены и проиллюстрированы случаи активизации различных экзогенных процессов при техногенном воздействии. Сделан вывод, что наибольшее влияние оказывается в результате нарушения техногенными объектами поверхностного и грунтового стока. Эти нарушения,

помимо формирования обширных подтопленных участков, в случае благоприятного сочетания геокриологических и литологических условий ведут к активизации термокарста.

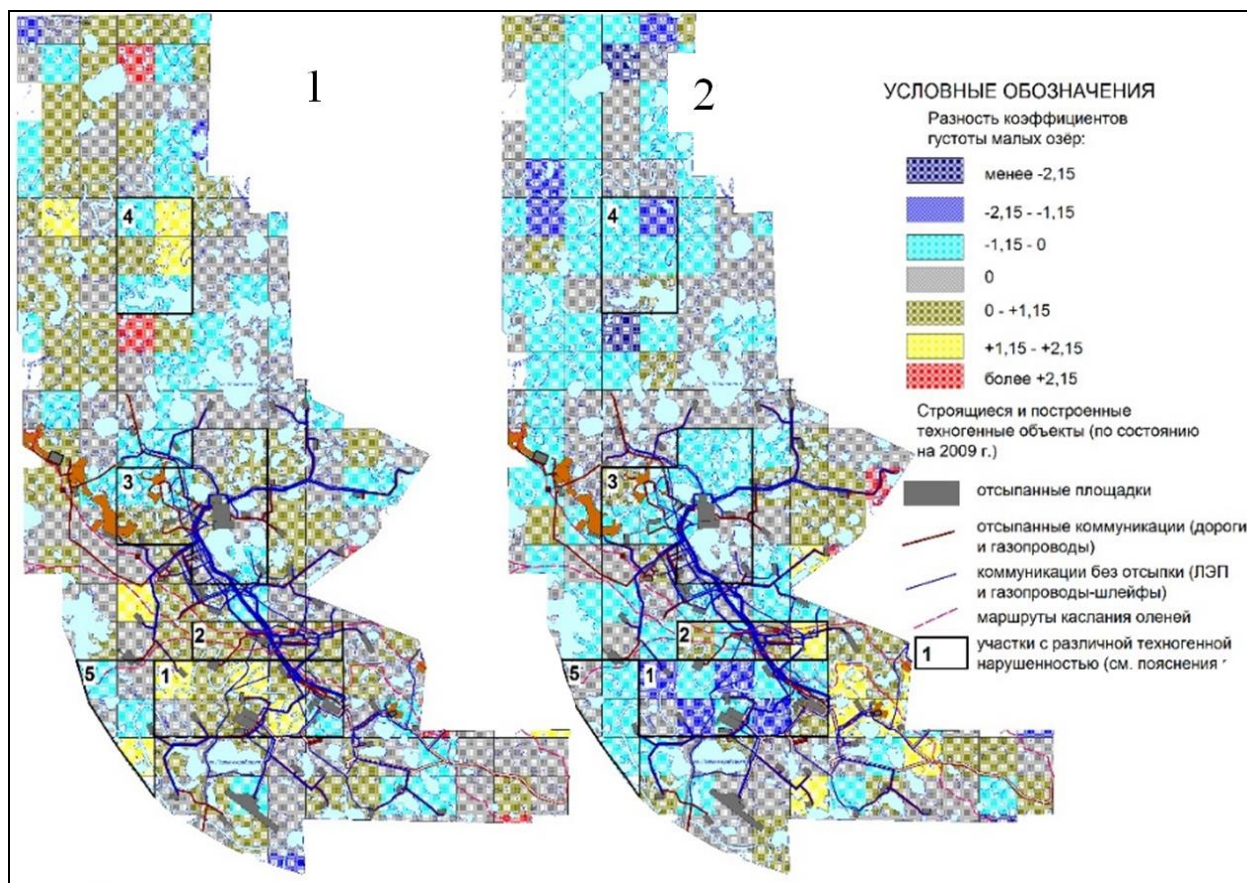
Как было показано нами ранее, динамика термокарстовых озёр может быть использована в качестве интегрального показателя, индицирующего изменения геологической среды под влиянием различных факторов. В заключительном разделе диссертации сделана попытка *оценки воздействия техногенного фактора на геологическую среду по расчетным показателям динамики озёрных котловин*. Для этого было проведено сравнение двух временных отрезков – 1979-2003 гг. (техногенная нагрузка практически отсутствует). и 2003-2009 гг. (значительная техногенная нагрузка). При сравнении было выявлено, что разница в степени техногенной нагрузки на геологическую среду отразилась в некоторых статистических характеристиках динамики термокарстовых озёр.

Для оценки связи между техногенным фактором и динамическими показателями термокарстовых озёр на территории исследования было выделено 5 ключевых участков (рис. 3). Эти участки были выбраны по принципу нестабильных динамических показателей термокарстовых озёр, а их границы проведены способом визуального районирования.

Выявлено, что часть участков с динамично меняющимся  $K_{\text{заоз}}$  относится к участкам с высокой степенью техногенной нагрузки, в т.ч. и один из важнейших кластеров освоения Бованенковского месторождения, расположенный в пойме р. Сеяха. На некоторых участках со значительной техногенной нагрузкой никаких изменений  $|\Delta K_{\text{заоз}}|$  не произошло, а на некоторых – произошло, несмотря на отсутствие техногенеза. Таким образом, прямой связи между статистически значимым изменением площадей озёр и техногенным фактором не выявлено.

При сравнительном анализе картограмм разности коэффициентов встречаемости малых озёр ( $K_{\text{густ}}$ ) за периоды 1979-2003 гг. и 2003-2009 гг. обращает на себя внимание значительная разница в значениях этого параметра

между исследуемыми периодами. Причём, заметно тяготение квадратов с наиболее значительными изменениями данного параметра к участкам с максимальной техногенной нагрузкой. Характерным типом изменения количества малых озёр на исследуемом участке является уменьшение количества малых озёр ниже по стоку от техногенных объектов. Эта закономерность свидетельствует, на наш взгляд, о зависимости количества малых озёр от слоя поверхностного и приповерхностного стока. При перехвате этого стока техногенными объектами происходит снижение обводнённости, что в свою очередь, приводит к затуханию термокарста.



*Рисунок 3. Картограммы разности коэффициентов встречаемости малых озёр ( $K_{густ}$ ) за периоды 1979-2003 гг. и 2003-2009 гг. Легенда – см. Приложение 15 к диссертации.*

**Основные выводы:**

– установлено, что в предшествующих исследованиях, посвящённых динамике термокарстовых озёр, как правило, отсутствует выявление связи

между исследуемыми формами рельефа и их геоморфологическим положением;

– модифицирована методика исследования пространственно-временной динамики термокарстовых озёр. Модификация заключается в использовании ручного дешифрирования материалов сверхвысокого разрешения с последующей статистической обработкой получившихся береговых линий;

– установлено, что динамика общей заозёрности района исследований контролируется изменением площадей крупных и крупнейших озёр, которая, в свою очередь, меняется в результате как геокриологических, так и климатических причин.

– установлено, что наибольшие значения изменения заозёрности характерны для низких геоморфологических уровней;

– выявлено, что формирование и спуск малых озёр являются индикаторами изменения локальных геодинамических и геокриологических условий;

– определено, что наивысшие значения изменения количества малых озёр характерны для поймы. Водоразделы являются более стабильными в этом отношении поверхностями;

– из двух предыдущих выводов следует, что поймы являются наиболее динамически активными участками с наименее устойчивой геологической средой;

– установлено, что микрорельеф, определяемый геоморфологическим уровнем, и осредненная теплопроводность верхней части разреза горных пород являются важнейшими факторами природной среды, влияющими на динамику малых озёр;

– в результате исследования выявлено, что для условий исследуемого района наиболее важным видом техногенного воздействия является нарушение и перераспределение поверхностного и грунтового стока,

приводящее к обводнению обширных участков и активизации термокарста. При спуске техногенных водоёмов возможна активизация процесса криогенного пучения;

– анализ динамики термокарстовых озёр показал, что изменение частоты встречаемости малых озёр является параметром, позволяющим оценить характер техногенного воздействия на геологическую среду. Изменение коэффициента заозёрности не отражает наличие или отсутствие техногенной нагрузки на геологическую среду;

– отмечено, что активное техногенное воздействие приводит к уменьшению количества малых озёр ниже по рельефу от построенных объектов. Это уменьшение связано с перехватом поверхностного стока отсыпками и иссушению малых озёр на нижележащих поверхностях.

#### **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Плановая форма и размер термокарстовых озёр как индикатор устойчивости рельефа Ямала // Гидрогеология, инженерная геология, геоэкология и геоэкология Забайкалья и сопредельных территорий: материалы научн.-практ. конф. 24-25 сент. 2008 г., Чита. – Чита: ЧитГУ, 2008. с. 101-108;
2. Плановая форма и размер термокарстовых озёр как индикатор устойчивости рельефа Ямала// Теория геоморфологии и ее приложение в региональных и глобальных исследованиях. Чтения памяти Н.А. Флоренсова. Иркутск, ИЗК СО РАН, 2010. с. 238
3. Картометрические исследования термокарстовых озёр на территории Бованенковского месторождения, полуостров Ямал// Криосфера Земли, 2012, т. XVI, №2. с. 30-37
4. Изменения площадей термокарстовых озёр на территории Бованенковского месторождения (Ямал) за последние 20 лет// Десятая Международная конференция по мерзлотоведению. Том III (статьи на русском языке). Под редакцией акад. В.П. Мельникова. При участии Д.С. Дроздова и В.Е.



- Романовского. 2012 Тюменский Государственный нефтегазовый университет. с. 451-455
5. Картометрические исследования динамики озёр термокарстового происхождения (на примере территории Бованенковского месторождения, п-ов Ямал)// Геоморфология и картография: материалы XXXIII Пленума Геоморфологической комиссии РАН. — Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2013. с 520-524;
  6. Природные факторы динамики малых термокарстовых озёр на территории Бованенковского газового месторождения // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2015. №3. с. 119-123
  7. Опыт оценки техногенного воздействия на геологическую среду криолитозоны путём расчёта коэффициента густоты малых термокарстовых озёр (на примере Бованенковского месторождения, Ямал) // Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы: Труды международной конференции / Под ред. В.П. Мельникова и Д.С. Дроздова. – Тюмень: Изд-во Эпоха, 2015. с. 337-341.