

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор – начальник Управления  
научной политики и организации  
научных исследований

МГУ имени М.В. Ломоносова,

д-р.м.н., профессор

А.А. Фодянин



» апреля 2016 г.



Ведущей организации – Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» – на диссертацию **Дворникова Юрия Александровича** на тему «Процессы термоденудации в криолитозоне и их индикация по растворенному органическому веществу», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности

25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

Диссертационное исследование Ю.А. Дворникова посвящено исследованию возможности индикации активизации термоденудации по содержанию растворенного органического вещества в озерах. Результаты исследования базируются на материалах, полученных автором по ключевому участку, расположенному в центральной части полуострова Ямал – на стационаре «Васькины Дачи» Института криосферы Земли СО РАН.

**Актуальность темы** определяется, прежде всего, необходимостью поиска наиболее оптимального метода оценки активизации криогенных процессов с использованием данных дистанционного зондирования. Для этого должны быть установлены надежные индикационные признаки, уверенно фиксируемые на космических снимках и заверенные в ходе полевых исследований.

**Цель работы** – установление связи развития процессов термоденудации с концентрацией растворенного органического вещества (РОВ) в озерной воде, а также влияния на этот показатель климатических флуктуаций, особенностей растительного покрова, геоморфологических условий и морфометрических характеристик озерных котловин и их водосборных бассейнов.

Для достижения поставленной цели сформулированы задачи, определившие структуру работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и выводов. Общий объем работы составляет 176 страниц текста, он включает 51 рисунок, 19 таблиц и 8 приложений. Список литературы насчитывает 181 наименование, в том числе 114 на иностранных языках.

В первой главе автором представлена характеристика района работ на Центральном Ямале и ставится задача исследования. Геокриологические, криолитологические характеристики ключевого участка, снежного покрова, описание озер и их водосборных бассейнов, термоцирков приводятся автором на основании анализа литературных источников и собственных полевых материалов. Задачи исследования выводятся на основании обзора современных публикаций, посвященных исследованию термокарстовых озер и процесса термоденудации.

Вторая глава посвящена описанию методики исследований, включая полевые работы и лабораторные методы изучения окрашенного растворенного органического вещества, а также блок дистанционных методов. В этой же главе представлены и результаты геохимического опробования озер ключевого участка.

В третьей главе рассматриваются и анализируются параметры, влияющие на концентрацию ОРОВ в озерах Ямала. Последовательно рассматриваются зависимость концентрации ОРОВ от объема воды в озере, алгоритм выделения водосборных бассейнов на основе цифровой модели рельефа, картографирование растительности с применением космических снимков, распределение снежного покрова ключевого участка и структура созданной автором базы данных.

В четвертой главе приводится статистическая модель влияния параметров на концентрацию ОРОВ в озерах Ямала и методика выявления активности термоденудации с применением данных дистанционного зондирования. Динамика термоцирков определена на основании повторных полевых инструментальных измерений положений бровок и результатов дешифрирования космических снимков сверхвысокого пространственного разрешения. Произведено сопоставление содержания ОРОВ в озерах без активной термоденудации в береговой зоне и с активными термоцирками.

В разделе «Выводы» представлены основные результаты достигнутые автором. В результате комплекса полевых, лабораторных исследований и анализа данных дистанционного зондирования установлены связи концентрации РОВ в озерной воде с активностью термоденудации на берегах. Определены ограничения применимости оптических космических снимков для анализа содержания РОВ. Получены новые данные

по батиметрии озер Центрального Ямала. Уточненная автором цифровая модель рельефа ключевого участка, построенная по материалам радарной съемки использована для расчета площадей водосборов озер и оценки водозапаса в пределах водосборов. Для сбора и обработки собранных автором разноплановых материалов разработана ГИС-ориентированная база данных.

**Защищаемые положения.** К защите представлены 3 положения:

1. Климатические изменения и связанная с этим активизация опасных криогенных процессов приводят к значительному увеличению концентрации РОВ аллохтонного происхождения в озерах Ямала. Пик повышения концентрации наблюдается в первый год после активизации процесса термоденудации в водосборном бассейне конкретного озера и затухает во времени.

2. Факторами, определяющими концентрацию РОВ для совокупности исследованных озер Ямала, как показал расширенный регрессионный анализ, являются: 1) соотношение площадей озера и водосборного бассейна (доля 26,8%), 2) высота уреза воды озера (доля 26%), 3) количество снега в водосборном бассейне (доля 26%), 4) активность термоденудации (доля 12,8%, в массив данных вошли как пораженные термоденудацией, так и не пораженные озера), 5) продуктивность растительного покрова (доля 6,6%). Для конкретного озера доля термоденудации может быть выше или ниже в зависимости от пораженности берегов этим процессом. В озерах с берегами, пораженными термоденудацией, содержание РОВ в 2-3 раза выше, чем в озерах со стабильными берегами.

3. Методика картографирования водосборных бассейнов и распределения по площади мощности снежного покрова и его водного эквивалента путем усовершенствования ЦМР, построенных на основе радарной интерферометрии, калиброванных наземной высокоточной тахеометрической съемкой с использованием автоматических процедур и экспертных оценок.

На наш взгляд 2-е защищаемое положение сформулировано не вполне удачно, поскольку в такой формулировке роль термоденудации затушевывается другими факторами и читатель может сделать вывод о незначительности этого процесса в формировании содержания РОВ в озерах. Подробный анализ собранных автором материалов приведен в главе 4, где представлены рисунки 4.8-4.10 отчетливо демонстрирующие четкую связь между концентрацией РОВ в воде и активизацией термоцирков.

Диссертант принимал активное личное участие в получении результатов: фактический материал, положенный в основу диссертации, собран автором за период 2011-2015 гг. в ходе экспедиционных исследований на территории Центрального Ямала. Автором проведена большая работа по полевому изучению динамики термоцирков, промерам глубины озер и отбору проб воды на содержание взвешенных веществ и ОРОВ. На камеральном этапе обработки полевых материалов автором самостоятельно выполнен комплекс лабораторных определений и обработаны космические снимки на ключевой участок. Проведен поиск и анализ фондовых и опубликованных материалов по тематике исследования. Полученные в результате этих работ результаты и составляют основу научной новизны диссертации.

В качестве **научной новизны** автором представлены 7 положений, значительно превышая по объему защищаемые положения. Новизна исследования состоит в усовершенствовании комплекса методов изучения содержания РОВ в озерах Ямала. Усовершенствованная цифровая модель рельефа, построенная на основе радарной съемки и калиброванная геодезической съемкой, использована для картографирования водосборных бассейнов озер и распределения снежного покрова ключевого участка. Оценено влияние различных природных условий и факторов на изменение содержания РОВ в озерах Ямала. Определена связь между активизацией термоденудации и увеличением концентрации РОВ. Для совмещения, сбора и обработки собранных данных автором разработана новая ГИС-ориентированная структура базы данных.

Поскольку районы севера Западной Сибири и других районов Арктики активно осваиваются, результаты работы по поиску индикационных признаков активизации термоденудации имеют **практическое значение** при проектировании и мониторинге воздействия экзогенных геологических процессов на проектируемые и функционирующие хозяйственные объекты. Использование предложенной методики интерпретации данных дистанционного зондирования позволит существенно сократить затраты на мониторинг термоденудации, поскольку дает качественную оценку о развитии термоцирков на интересующей территории.

Однако следует подчеркнуть, что предложенная методика дает лишь первичную оценку наличия активных термоцирков по берегам озер изучаемого района с выделением потенциально опасных участков. На следующем этапе исследований на этих участках целесообразно запланировать полевые, режимные наблюдения, которые в сочетании с одновременными космическими снимками сверхвысокого пространственного разрешения позволят количественно оценить динамику термоцирков.

По окончании прочтения работы остается ряд **замечаний и вопросов** к автору, глубоко вникнувшему в данную проблематику и проработавшему большой объем научной литературы. Замечания перечислены ниже:

1. Введение, второй абзац, по всей видимости, озера могут служить индикатором активности криогенных процессов только в пределах их водосборов, поскольку существуют также и речные и мелкие эрозионные бассейны без озер, но с наличием термоцирков.

2. Содержание растворенного органического вещества (РОВ) в водных объектах зависит от наличия и продуктивности организмов, бактерий в воде. Тундровые озера достаточно разнообразны, выделяются так называемые «голубые озера», отмечается неравномерноераспределение в том числе видового состава рыб и водорослей. В работе же все озера в пределах ключевого участка анализируются как единая группа.

3. Отсутствует четкое определение, что такое верхние горизонты криолитозоны и что понимает автор под их динамикой (введение, 3 абзац).

4. В работе отсутствует обоснование, почему из всего богатства показателей состава воды именно РОВ отдается предпочтение при оценке активности криогенных процессов. Является ли концентрация РОВ более показательной, чем, скажем, содержание взвешенного вещества? Очень интересно было бы провести сравнение между информативностью содержания в воде разных компонентов и их связью с активностью криогенных процессов. В частности, автор отбирал пробы на содержание взвешенных веществ и на рисунках 2.3 и 2.5; 4.8 и 4.9 – средние значения содержаний взвешенных веществ и РОВ изменяются однообразно (содержание снижается).

5. Во введении автором не дается четкое определение, что он понимает под термином «термоденудация». Термоденудация и формирование термоцирков перечисляются через запятую, значит эти процессы автор разделяет, но не приводит объяснения этого. Однако в разделе 1.2.1 автор пишет о понимании термоденудации в узком значении, когда термоденудация трактуется как процесс вытаивания подземных льдов с формированием термоцирков. Из текста также неясно, как автор оценивает влияние криогенных оползней скольжения (широко распространенного криогенного склонового процесса, развитого в пределах ключевого участка на Центральном Ямале, где автор собирал полевые материалы) и термоэрозии на состав озерной воды.

6. В задаче 8 дается уточнение, что объектом исследования (для которых фиксируется изменение концентрации РОВ) являются озера, береговая линия которых нарушена развитием термоцирков. Если это так, то следует это четко определить выше,

какие из водосборных бассейнов анализируются – есть ли критерий расстояния между термоцирком и берегом озера. Существуют термоцирки, пространственно приуроченные к бровкам и склонам террасовидных (приводораздельных) поверхностей. Судя по данным автора, на содержание РОВ в озерах влияют только прибрежные термоцирки, соответственно дальность переноса РОВ очень мала, в связи с этим, нет объяснения, почему в качестве одного из факторов рассматриваются площади водосборов, которые существенно превышают площади термоцирков. Также, если влияют только береговые термоцирки, автор не объясняет, почему привлечен блок работ по дешифрированию кустарниковой растительности и анализу водозапаса в снеге в пределах водосборных бассейнов.

7. Пункт 1 новизны (то же относится и к выводам на стр.122) – предложенная формулировка нам представляется неудачной. Существует ряд аналогичных работ по определению динамики термоцирков, термотеррас и термоденудационного разрушения морских берегов с использованием комплекса полевых и дистанционных методов, проведенных как российскими, так и зарубежными научными группами.

8. Пункт 3 новизны – неудачная формулировка не дает возможности оценить, в чем состоит новизна методики картографирования. Для обоснования вывода сильно помогло бы сопоставление существующих методик и подхода автора.

9. Пункт 4 новизны – только растительность выделена как один из ведущих факторов изменения концентрации РОВ в озерной воде без обозначения остальных значимых факторов указанием их веса. К этому автор возвращается в пункте 6 – перечисляет основные факторы. К сожалению, в работе помимо перечисления нет объяснения механизма связи и логической цепочки, почему именно эти факторы включены автором в анализ. Аналогичное замечание к п.2 защищаемых положений и выводам Главы 4.

10. Пункт 7 - автор связывает сокращение концентрации ОРОВ в озерах с затуханием термоденудации. Однако в тексте автор приводит ссылку на работу Thompson et al., 2008, в которой предполагается снижение концентрации ОРОВ при продолжающейся активности криогенных процессов - за счет осаждения органического вещества на тонкодисперсных глинистых частицах. Для получения подобных данных безусловно требуются продолжительные ряды наблюдений и мы надеемся, что в следующих исследованиях автор продолжит работу в этом направлении и получит собственные достоверные данные о сезонных и многолетних трендах изменения концентрации РОВ в тундровых озерах.

11. Защищаемые положения – пункт 1 – автор приводит климатические изменения в качестве причины активизации криогенных процессов. Тем не менее, в самой работе не анализируются климатические параметры, которые в первую очередь определяют темпы термоденудации – изменение суммы положительных температур воздуха и изменение суммы и соотношения зимних и летних осадков за период наблюдений.

12. Первая глава (стр.15, верхний абзац) – на наш взгляд критерии выделения и индикационные признаки термоцирков существуют и этому посвящен ряд публикаций. Активные термоцирки прекрасно визуальнo дешифрируются на сверхвысокодетальных космических снимках. Заслугой и новизной подхода автора является поиск индикационных признаков, которые можно применять для анализа космических снимков с меньшим пространственным разрешением (до 10 м/пиксель). Т.е. по косвенным методам определять активность термоденудации, в том числе и в автоматизированном режиме.

13. Глава 1, стр. 18-22 – отсутствует ссылка на источник данных о криолитологическом строении ключевого участка. Из текста не следует – сделал ли описания сам автор по результатам бурения или воспользовался чьими-то данными.

14. Глава 1, стр.25 – вызывает вопрос фраза «... площадь озера может... и не достигать двойного размера водосборного бассейна».

15. Подраздел 1.2.1 – отсутствует рисунок 1.8.

16. Подраздел 1.3 – некорректная ссылка – в своих исследованиях группа D.Fortier с коллегами (E.Godin and D.Fortier) активно привлекает комплекс методов по изучению динамики термоэрозии на о.Байкал – как данные дистанционного зондирования (разновременные аэрофотоснимки и космические снимки), так и материалы полевой съемки с использованием дифференциальных GPS.

17. Подраздел 1.3 – автором делается неожиданный переход от рассмотрения просто «озер» к анализу содержания ОРОВ в «термокарстовых озерах». При этом, автором никак не анализируется вклад термокарста в состав воды озер, работа посвящена выявлению связи между термоденудацией (образованием термоцирков) и содержанием органики в озерах.

18. Выводы к главе 2 – вывод 1 не следует из анализа данных представленных в этом разделе. Сопоставление содержания РОВ в озерах и активности термоденудации на берегах приводится автором только в главе 4. В главе 2 этот вывод преждевременен.

19. На наш взгляд главе 2 не хватает раздела с обсуждением сопоставимости полевых данных и данных дистанционного зондирования, учитывая временные различия времени космической съемки и проведения полевых работ. К сожалению и в 4-й главе тоже нет оценки сходимости результатов определения концентрации РОВ, полученных полевыми и дистанционными методами.

20. В главе 3 снова приводятся методики исследований, которые должны быть все перечислены в главе 2, следуя ее названию и рубрикации. В тексте главы отсутствует объяснение, почему автор пришел к выводу о необходимости оценивать именно перечисленные параметры озер и их водосборных площадей. В частности, чем обусловлено привлечение расчетов вегетационных индексов, картографирование кустарниковой растительности и расчет снегозапасов в пределах водосборов, если ищется способ диагностирования развития именно береговых термоцирков.

21. На стр.105 говорится, что «прирост площади термоцирка в первый год активизации процесса превышает 100% от общей площади при возникновении новых форм...». Вероятно автор имеет в виду год, следующий после возникновения термоцирка?

22. Глава 4 – при сравнении концентрации ОРОВ в 2009 и 2013 гг. (стр.113) автор характеризует эти сезоны близкими среднегодовыми температурами, тогда как для темпов термоденудации более важным показателем является сумма положительных температур, накопившаяся к моменту съемки.

23. На наш взгляд неправомерно говорить о роли климатических флуктуаций, которые через увеличение мощности СТС, могут приводить к росту концентрации ОРОВ в озерах, т.к. в работе анализируются космические снимки, сделанные в разные моменты летнего сезона. За исключением 1 сцены GeoEye, снятой 15.08.2009, остальные 3 сцены получены в июле 2010 и 2013, когда СТС не достигает еще своей максимальной глубины и подошва СТС еще остается в мерзлом состоянии и соответственно никак не может участвовать в поставке органики в озера.

24. Интернет источник, из которого заимствован рисунок 2.1 (<http://www.oceanopticsbook.info/view/absorption/definitions>) – не внесен в список литературы.

25. Ссылка <https://spottake5.org/client/#/products/SPOTS?site=CentralYamalRussia> (на стр.71) также не внесена в список литературы.

26. Рисунок 4.13 (стр.115) дублирует рисунок 2.10 (стр.52).

27. Нумерация приложений почему-то начинается с 2.1 – значит Приложение 1 – пропущено?



Выбранная автором тематика является безусловно интересным и малоизученным аспектом выявления связи между активностью криогенных процессов и геохимическим составом тундровых озер. Объективно, на большое количество вопросов пока нет ответов, поскольку пока в мире выполнено очень мало исследований по оценке динамики органического вещества в тундровых озерах в зависимости от различных природных условий, в которых они находятся, и от переменных во времени внешних факторов. Представленная работа является важной и актуальной, поскольку автором собран и проанализирован по сути уникальный фактический материал, обогащающий копилку знаний о характеристиках тундровых озер.

Безусловный интерес представляет выявление сезонной динамики содержания РОВ в озерах – изменчивость в течение года. Проанализированные космические снимки и отобранные в конце летнего периода пробы представляют собой дискретные данные на конкретный момент времени, и зафиксированные с их помощью значения вполне вероятно меняются во времени. Для получения достоверных данных о сезонной и межгодовой динамике требуется организация мониторинга, что представляет собой задачу будущих исследований.

В качестве рекомендации по дальнейшему развитию диссертантом выбранного направления мы хотели бы порекомендовать постановку полевого эксперимента для достоверного выделения источников поступления органического вещества в озера. Выделение и количественная оценка вклада поступления РОВ с поверхностным стоком, через эрозионную сеть, за счет фильтрации в СТС, при разрушении берегов за счет абразии, при отступании стенок термоцирков, при расширении талика под термокарстовым озером. Отдельным направлением является анализ биохимических процессов, происходящих в озерах и приводящих к трансформации и изменению содержания РОВ в воде. Развитие этого направления существенно расширит научные представления о геохимических процессах в криолитозоне, в частности о перемещении и трансформации органического вещества в водных объектах.

Несмотря на высказанные замечания, которые в большей своей части являются дискуссионными и представляют пожелания к дальнейшим исследованиям, диссертация выполнена автором на высоком научном уровне, является самостоятельной и законченной. Исследование заслуживает высокой оценки. Структура работы соответствует цели и отражает последовательное решение поставленных задач. Проведен анализ значительного количества отечественных и зарубежных литературных источников.

Работа базируется на материале, полученном лично автором в ходе полевых исследований на ключевом участке на Центральном Ямале. Автор самостоятельно обработал отобранные пробы в лабораторных условиях. Также самостоятельно был выполнен весь технологический процесс обработки космических снимков и разработки на их основе тематических продуктов. Важным достоинством работы является предложенный автором комплексный подход к решению поставленной задачи - комбинирование автором собственных полевых материалов, полученных результатов лабораторных определений и результатов обработки данных дистанционного зондирования. В результате выполненных работ сделан ряд оригинальных выводов, явившихся научной новизной работы. Новизна и достоверность основных выводов диссертанта достаточно убедительны. Автореферат соответствует содержанию диссертации, выводы и результаты представлены в полном объеме и дают полное представление о проделанной работе. Результаты работы опубликованы автором и были представлены на 14 научных международных и общероссийских конференциях.

Диссертацию Дворникова Юрия Александровича «Процессы термоденудации в криолитозоне и их индикация по растворенному органическому веществу» по своему уровню и объему, по научной и практической важности полученных результатов можно рассматривать как достойную квалификационной оценки. Это законченная научно-исследовательская работа, выполненная самостоятельно на актуальную тему, на требуемом научном уровне и соответствует требованиям п. 9.14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842.

Представленная работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Дворников Юрий Александрович заслуживает присуждения ему степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.08 – инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение.

Отзыв подготовлен сотрудниками кафедры, заслушан и утвержден на заседании кафедры криолитологии и гляциологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, протокол 15 от 19 апреля 2016 г.

Секретарь кафедры криолитологии и гляциологии



О.И. Алабян

Заведующий кафедрой криолитологии и гляциологии, доктор географических наук, профессор Вячеслав Николаевич Конищев



В.Н. Конышев

Декан географического факультета, член-корреспондент РАН, профессор  
Сергей Анатольевич Добролюбов



С.А. Добролюбов

Адрес организации:

119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1,  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Телефон: (495) 939-10-00, факс: (495) 939-01-26  
Web-сайт: [www.msu.ru](http://www.msu.ru)  
e-mail: [info@rector.msu.ru](mailto:info@rector.msu.ru)  
Географический факультет:  
Телефон: (495) 939-22-38, факс (495) 932-88-36  
Web-сайт: <http://www.geogr.msu.ru>  
e-mail: [secretary@geogr.msu.ru](mailto:secretary@geogr.msu.ru)