

ОТЗЫВ

официального оппонента по диссертационной работе
Задорожной Наталии Александровны на тему:
" **МЕТАН В МЕРЗЛЫХ И ПРОТАИВАЮЩИХ ПОРОДАХ ЗАПАДНОЙ
АРКТИКИ**",

представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.7 – инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

Работа Задорожной Наталии Александровны посвящена оценке влияния мерзлотных условий на содержание и динамику метана в мерзлых и протаивающих породах основных комплексов четвертичных отложений в криолитозоне Западной Арктики.

Диссертация состоит из Введения, пяти глав, Заключение и списка литературы. Объем диссертации 180 стр., включая 90 иллюстраций, 6 таблиц. Список литературы включает 152 наименования. Текст автореферата в целом соответствует тексту диссертационной работы. Основные положения диссертационной работы Н.А. Задорожной изложены в двух журнальных публикациях (список ВАК), и двух статьях в рецензируемых журналах.

Актуальность избранной темы. В целом актуальность представленной работы сомнений не вызывает. Многолетнемерзлые породы, подземные льды, а также сезонно-талый слой содержат значительные запасы парниковых газов, в том числе и метана, эмиссия которых влияет на изменение климата.

Введение содержит необходимые положения, касающиеся содержания и структуры работы, сформулированы цель и задачи исследований, указана актуальность и новизна, практическая значимость, личный вклад автора и ссылки на публикации, в которых отражены результаты исследований. Здесь приводятся также основные выводы и защищаемые положения. К введению можно сделать следующие замечания:

1. Автору следует определить некоторые термины, в отношении которых в литературе не единой точки зрения. В частности, автор использует понятие «переходный слой». При этом известно, что многолетние колебания глубины СТС действительно часто приводят к образованию малоледистого переходного («transient», French and Shur, 2010) слоя, откуда вода может уходить при оттаивании высоколедистого, расположенного ниже «промежуточного» («intermediate», по Френчу и Шуру) слоя. Переходный слой (Шур, 1988) представляет собой своеобразный «слой рассеивания значений глубины сезонно-талого слоя». Переходный («transient», French and Shur, 2010) слой необязательно бывает малоледистым, но это довольно частое явление. Его также называют «защитным» слоем (Ефимов и Граве, 1940; Harris и др., 2016). Иногда считается, что покровный слой (термин Т.Н. Каплиной), включает в себя и переходный, и промежуточный (как правило, сильноледистый слой) в кровле мерзлоты.

2. Понятие «модельной территории» вызывает возражения, потому что модель – некоторая умозрительная искусственная конструкция, а территория, несомненно часть многообразной природной среды. Кроме того, автор, употребляя этот термин, не дает ему определения.

В главе 1 «ПРОБЛЕМА МЕТАНА В МЕРЗЛЫХ И ПРОТАИВАЮЩИХ ПОРОДАХ» рассмотрено состояние изучаемой проблемы. Автором обозначена проблематика и выполнен анализ работ по содержанию и распространению метана в криолитозоне. К этой главе можно сделать следующие замечания:

1. Автор неточно цитирует литературу, в частности, в работе (Brouchkov, Fukuda, 2002) вовсе не рассматривается пузырьковый и диффузионный перенос, как это утверждает автор (в двух местах в тексте диссертации). В цитируемой работе, наоборот, содержатся данные о содержании метана в мерзлых отложениях Центральной Якутии, которые автор не упоминает и не использует, хотя они имеют прямое отношение к работе

автора.

2. В качестве гипотезы автор принимает, что при прочих равных условиях должно наблюдаться соответствие содержания метана в сезонно-талом слое и летней температуры воздуха и пород. Это значительное и, по моему мнению, не совсем справедливое упрощение, т.к. на метаболизм метаногенов влияют прежде всего количественный и качественный состав их сообщества, данные по которому у автора отсутствуют, а также доступность составляющих питания и кислорода в среде, сведений о которых автор не имеет. Непонятно, как, по утверждению автора, может меняться видовой состав метаногенов в СТС по мере повышения температуры – откуда могут взяться в сообществе новые виды, если мы лишь повышаем температуру среды? Автор, очевидно, неточно цитирует здесь работу (McCalley et al., 2014).

3. Автор в тексте употребляет выражения грунты СТС и породы СТС как синонимы, однако в инженерной геологии принято различать эти понятия (Е.М.Сергеев, В.Т.Трофимов и др.).

4. Автор утверждает, что «биогенный метан – это конечный продукт разложения органического вещества метаногенными археями в анаэробных средах», и даже, что « CH_4 образуется в бескислородных условиях водонасыщенного слоя сезонного оттаивания и в таликах при наличии достаточного количества органического углерода в доступных формах» в то время как известно, что большинство метаногенов используют только углекислый газ и водород, причем любого происхождения, не обязательно органического, в соответствии с реакцией $\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$.

5. По словам автора, на острове Самойловский авторами (Walz et al., 2017) проводились наблюдения, в результате которых получилось, что метаногенеза в мерзлых породах не происходит, он имеет место только в сезонно-талом и в переходном слое. Далее, автор пишет, что, «по мнению других авторов (Nikrad et al., 2016; Краев, Шмелев, 2016), метаболическая активность микробов не прекращается при понижении температуры отложений ниже 0°C ». Автор, очевидно, недостаточно проанализировал литературу. Есть не только мнения, но и доказательства на этот счет. В частности, в работе (Rivkina и др., 2007) с использованием изотопа ^{14}C экспериментально показана возможность образования метана в условиях вечной мерзлоты. В связи с этим утверждение автора, что «продуцирование метана начинается одновременно с сезонным протаиванием» (далее, на стр. 88) также сомнительно.

Глава 2 «ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ» посвящена описанию районов исследований. Основное содержание Главы сводится к климату, рельефу и ландшафтному районированию. К этой главе можно сделать следующие замечания:

1. По утверждению автора, при постановке исследований необходимо было охватить наблюдениями доминантные ландшафты, однако доказательств того, что были изучены именно преобладающие, или, как называет их автор, доминантные ландшафты, в работе нет. Автор фактически ограничивается лишь районированием изученных районов.

2. Автор большое внимание уделяет данным по динамике температур воздуха в районах исследований (более 20 страниц преимущественно цитируемого материала метеостанций), при том, что температурам в СТС, которые, по мнению автора, определяют в значительной мере содержание метана в СТС, уделено значительно меньшее внимание. Практически мониторинговые данные о температурном режиме СТС в работе отсутствуют.

3. Автор часто называет Арктикой, или Западной Арктикой континентальную криолитозону изученных районов. Между тем Арктика – это не только северная окраина Евразии, но Северный Ледовитый океан (см. Росс. Энцикл. и др.), где исследования автором не проводились. Автору следует профессионально использовать терминологию.

4. Действительно, для понятий переходный, промежуточный или покровный слой нет единой точки зрения (см. замечание 1 к Введению). Однако утверждение автора, что для «переходной зоны (очевидно, слоя – А.Б.) характерна высокая влажность и льдистость отложений» неверно. Колебания подошвы СТС приводят к оттаиванию ледяных

включений в кровле мерзлоты и осадке временами оттаивающего слоя, поэтому он, наоборот, часто бывает малольдистым. Именно поэтому его называли также «защитным» (Ефимов и Граве, 1940 и др.), защищающим от развития процесса термокарста. Автор утверждает, что «во всех разрезах наблюдается скачок влажности (льдистости) непосредственно под сезонно-талым слоем», что справедливо не для всех разрезов, а только для разрезов, кстати, немногочисленных, всего 4-5, судя по тексту диссертации, самого автора. Это лишь указывает на определенную динамику температурного режима СТС рассматриваемых районов.

Глава 3 «ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ» посвящена описанию геологических и мерзлотных условий районов работ. Автор описывает хорошо известный геологический разрез среднего и верхнего плейстоцена Западной Сибири, однако с ограниченным количеством ссылок, некоторые относятся к работам более чем 50-летнего возраста (например, Лазуков, 1972). Эта довольно объемная глава, около 30 страниц, в основном представляет собой описание результатов других авторов. К замечаниям можно отнести следующие.

1. Автор ошибочно называет вашуткинскую свиту «вашуткинской» на стр. 62
2. Понятие «твердомерзлой консистенции», которое использует автор на стр. 65, согласно ГОСТ 25100, не применяется к мерзлым грунтам. Консистенция, по ГОСТу и др., бывает текучей или пластичной, есть также показатель консистенции – для немерзлых грунтов.

3. На стр. 80 утверждается, что «в устье реки Печора наиболее длительный мониторинг температуры пород осуществлялся на территории стационара Болванский», и приводится рисунок 3.8, где показаны данные, начиная с 1980 г., которые автор, без сомнения, никак не мог получить сам. Очевидно, здесь произошло заимствование материала без надлежащей ссылки.

Глава 4 «МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ МЕТАНА В МЕРЗЛЫХ И ПРОТАИВАЮЩИХ ПОРОДАХ» посвящена описанию методики исследований. Основное содержание главы посвящено оборудованию, протоколам исследований и обработки результатов. В полевые исследования, согласно автору, входят: описание шурфов, обнажений, скважин, изучение температурного режима пород и ландшафтной структуры территорий, отбор образцов на различные виды анализов, в том числе проб на газовый состав, а также полевое определение влажности пород. К лабораторным методам исследования, согласно автору, относятся: определение гранулометрического состава отложений, газового состава, содержания органического углерода в породах, определение изотопного состава газов, а также радиоуглеродное датирование образцов. Замечание следующее. Судя по тексту, в полевых условиях отбирались образцы на все виды лабораторных анализов, в том числе и пробы на определение газовой составляющей методом «Headspace». Однако последний, из-за небольшого объема пробы, не всегда точен. В некоторых исследованиях показано (Чербунина и др., 2018), что оба метода дают неплохую сходимость результатов, но для грунтов района исследования автора это не было показано. Поэтому использование «метода большого образца» было бы необходимым для проверки точности определений, однако автором такая попытка предпринята не была. Поэтому возникают некоторые сомнения в достоверности результатов определений концентрации метана.

Глава 5 «МЕТАН В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ И ПРОТАИВАЮЩИХ ПОРОДАХ И ПОДЗЕМНЫХ ЛЬДАХ» посвящена результатам определений содержания метана в мерзлых и оттаивающих породах. В основу анализа положены материалы, полученные лично автором, также привлечены все доступные опубликованные и архивные данные Института криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН и других организаций. В устье р. Печоры наибольшие значения метана отмечаются в мерзлых торфах, меньше – в мерзлых аллювиально-морских песках, наименьшее количество метана характерно для талых аллювиальных песков и талого торфа. В торфах минимальное количество газа содержится

в талых породах (не более 1,9 мл/кг), а максимальное – в мерзлых породах под сезонно-талым слоем, где концентрации метана достигают 18,6 мл/кг. В распределении метана по глубине можно выделить три зоны, отличающихся по характеру и величинам содержания метана. Автор делает вывод, что каждый стратиграфо-генетический комплекс мёрзлых четверичных отложений Европейского Севера России и Западной Сибири и подземные льды характеризуются уникальными показателями содержания метана, отражающими условия формирования и промерзания пород и подземных льдов и несущими в себе, по выражению автора, «климатический «сигнал». К замечаниям можно отнести следующие.

1. Содержание метана в мл в мг, или в единицах концентрации, которые использует автор, не дает возможности сравнивать данные с данными других исследователей, т.к. объем газа зависит от давления в слое, в его концентрацию следовало бы приводить вместе с объемом порового воздуха при атмосферном давлении и определенной температуре, чтобы определить общее количество метана в грамме или миллилитре горной породы.

2. Согласно автору, в повторно-жильных льдах количество метана в районах исследований оказалось меньше, чем в пластовых льдах. При этом для других регионов – Якутии, Аляски, в частности, содержание метана в ПЖЛ иногда очень велико (данные, например, К. Yoshikawa и др.). Поэтому вывод автора о высоком содержании метана в ПЖЛ нельзя считать обобщающим.

3. Автор приводит статистику содержания метана, но стандартное отклонение в некоторых случаях достигает 200% от среднего значения, а коэффициент вариации (отношение стандартного отклонения к среднему значению) составляет 58%. Известно, что если коэффициент вариации превышает 33%, то это говорит о неоднородности полученной информации, необходимости, по крайней мере, исключения экстремальных значений и дальнейшей обработке данных. Какие-либо определённые выводы при таких значениях коэффициента вариации не корректны.

4. Вызывают сомнение полученные автором результаты высокого содержания метана в некоторых дренированных отложениях, т.к. известно, метаногенез активен в большей степени в болотах, или на увлажненных участках. По крайней мере, эти результаты нуждаются в объяснениях.

5. Рисунок 5.37 (Соотношение между содержанием метана в СТС и суммой положительных температур в доминантных ландшафтах), на котором базируется принципиальный вывод автора о возрастании содержания метана в породах сезонно-талого слоя по мере увеличения температуры воздуха, содержит небольшое количество точек, при этом линии аппроксимации, как видно из этого рисунка, вероятно, могут быть проведены различно, даже, возможно, противоположно выводу автора. Таким образом, это положение диссертации выглядит, по моему мнению, слабо обоснованным.

В заключение отметим, что защищаемые положения диссертации, новизна результатов и их практическая значимость в целом обоснована результатами исследований, выполненных в диссертационной работе и краткое изложение которых здесь приведено.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, являются обоснованными, опирающимися на полевые и лабораторные результаты.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы обусловлена: 1. Обоснованием методов исследований. 2. Сравнением полученных в работе результатов с фактическими данными и данными других исследователей. Основные защищаемые положения изложены в 2 статьях из перечня ВАК (в одной из статей Н.А. Задорожная – первый автор), и двух статьях в рецензируемых изданиях.

Значение выводов и рекомендаций, полученных в диссертации, для науки и

практики.

Значимым результатом работы является оценка содержания метана в мерзлых отложениях и его распределения по глубине в сезонно-талом слое и кровле вечной мерзлоты. Практическая значимость результатов заключается в их возможном использовании в климатических моделях.

Замечания в основном отмечены в главах работы.

Общая оценка диссертационной работы.

Диссертационная работа Н.А. Задорожной посвящена актуальному направлению изучения газовой составляющей мерзлых пород и представляет собой научно-квалификационную работу, в которой решаются актуальные для геокриологии задачи. При общей оценке работы, по-моему, нужно учитывать следующее. Рассматриваемая работа Н.А. Задорожной не лишена отмеченных выше недостатков, однако, по моему мнению, может быть защищена. Автор имеет определенную квалификацию и опыт работы в области изучения газового состава мерзлых пород. Она может самостоятельно решать научные задачи. Автор имеет две публикации ВАК (одну как первый автор), но это не является препятствием к защите, если отвечает требованиям диссертационного совета и ВАК.

В целом, по моему мнению, диссертация Н.А. Задорожной отвечает современным требованиям ВАК, а ее автор – заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.7 – инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение.

Официальный оппонент:

Доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой геокриологии геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова, А.В. Брушков.

Специальность, по которой защищена докторская диссертация А.В. Брушкова - 25.00.08 - инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение. Адрес: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, МГУ им. М.В. Ломоносова, электронная почта: brouchkov@geol.msu.ru, телефон: +7(495)939-1281.

Я, Брушков Анатолий Викторович даю согласие на автоматизированную обработку персональных данных, связанных с работой диссертационного совета.

А.В. Брушков
22 марта 2024 г.

