

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геоморфологии и геоэкологии

**Мониторинг выделения метана на территории вечной мерзлоты России  
с применением ГИС-технологий и данных дистанционного  
зондирования**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВАРСКОЙ РАБОТЫ

студента (ки) 4 курса 431 группы

направления 05.03.03 Картография и геоинформатика

географического факультета

Сазоновой Сальвины Алексеевны

Научный руководитель

доцент

В.А. Данилов

Зав. кафедрой

к.с.-х.н., доцент

В.А. Гусев

Саратов 2024

**Введение.** Одним из наиболее ярким подтверждением теории современного глобального потепления является таяния вечной мерзлоты в арктических и субарктических регионах мира. Интенсификацию таяния вечномёрзлых грунтов специалисты связывают с группой факторов, одним из которых является изменение характера и активного хозяйственного данного региона. Хотя данный процесс и отмечается глобально, но он требует особого внимания в организации системы мониторинга для северных территорий, где последствия таяния вечной мерзлоты проявляются особенно интенсивно и несут ряд рисков, одним из которых является интенсификация выделения метана, который еще более «разгоняет» глобальное потепление. На современном этапе из-за слабой освоенности территории, неразвитости транспортной сети и мониторинговой сети выполнить мониторинг таяния вечной мерзлоты и динамики выделения метана возможно преимущественно только дистанционными способами.

Актуальность темы заключается в том, что для изучения динамики и определения зависимости между глобальным потеплением и выделением метана, а также обратным процессом, нужно обладать набором средств оперативного мониторинга и анализа. Длительное время основой глобальной оценки уровня выделения метана являлись расчётные данные, то в настоящее время получение значительного объема объективных данных обеспечивается дистанционными методами как на отдельных локальных участках, так и путем космического зондирования целых регионов.

Целью выпускной квалификационной работы является изучение динамики выделения метана на различных участках территории распространения вечной мерзлоты по данным дистанционного зондирования.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- рассмотреть основные причины и факторы выделения метана;
- рассмотреть существующие хозяйственное освоение и объекты транспортной инфраструктуры территории России, а также их влияние на таяние вечной мерзлоты;

- произвести расчет и проанализировать динамику изменения коэффициента “озёрности” по тестовым полигонам, расположенным во всех природных зонах распространения вечной мерзлоты;

- проанализировать с применением ГИС-технологий динамику выделения метана, его связь с изменением гидрографических характеристик и оценить потенциальные зоны распространения таяния вечной мерзлоты.

### **Основное содержание работы.**

#### **1 Изучение таяния вечной мерзлоты**

Первый раздел включает в себя общую информацию о таянии вечной мерзлоты в следствии глобального потепления, изучение его с помощью мониторинга ДДЗ и методики исследования таяния вечной мерзлоты.

Глобальное потепление — это долгосрочный процесс планетарного масштаба, в ходе которого постепенно повышается средняя температура на Земле. Некоторые учёные считают глобальное потепление мифом, так как климат на планете всегда менялся и это её естественный процесс, но по многим исследованиям деятельность человека влияет на глобальное потепление в очень больших масштабах [1].

Из-за глобального потепления происходит таяние многолетней мерзлоты в Арктических регионах. Таяние мерзлоты приведёт к образованию нового источника парниковых газов в атмосфере, то есть причиной выделения парниковых газов являются сами же таяние мерзлоты и глобальное потепление. Эти три вещи взаимосвязаны и ускоряют друг друга.

Можно выделить такой фактор, как активное выделение метана, который усиливается за счёт самого же таяния вечной мерзлоты. Многолетняя мерзлота содержит законсервированный метан и ряд органических веществ. Метан содержится в мерзлоте и в пузырьках в смеси с воздухом, и в виде гидратов метана. Породы включают в себя большое количество отмерших органических веществ, способных служить при положительных температурах источником питания в процессе жизнедеятельности метаногенных бактерий, а в некоторых случаях – и даже отрицательных.

Выделение метана и таяние вечной мерзлоты взаимосвязаны друг с другом и усиливают влияние друг на друга, особенно в местах с тонкими почвами и в любых трещиноватых породах. Вдобавок, при таянии льдов выделяются и другие инертные и парниковые газы, способствующие потеплению климата.

Дистанционное зондирование в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах с высоким пространственным разрешением может использоваться для идентификации геологических структур и ландшафтных особенностей, связанных с вечной мерзлотой. Могут идентифицироваться, например, термокарстовые озёра, области регулярного оттаивания или замерзания земной поверхности.

Основными известными способами по дешифрированию и мониторингу вечной мерзлоты по ДДЗ являются:

А. Отслеживание участков термокарстовых проявлений по космическим снимкам;

Б. Исследование смещения границы вечной мерзлоты по термокарстовым озёрам;

В. Исследование границы мерзлоты по образовавшимся аласам;

Г. Мониторинг по космическим снимкам изменения границ распространения многолетней мерзлоты по индикационным признакам криогенных и посткриогенных ландшафтов;

Д. Определение областей активного термокарста на территории многолетней мерзлоты и их выявление по космическим снимкам.

## **2 Изучение динамики выделения метана**

Второй раздел содержит информацию о причинах выделения метана, влияние выделения метана на скорость таяния вечной мерзлоты в различных природных зонах и исследование по выделению метана и таянию вечной мерзлоты на территории Западной Сибири.

Глобальное потепление является главным природным фактором выделения метана.

Вторым важным фактором является выброс парниковых газов. Ранее солнечное тепло и излучения поступали на Землю, согревали ее и отражаясь от поверхности уходили в космос. Теперь они повторно отражаются от слоя парниковых газов и вновь попадают в атмосферу, согревая ее повторно.

Третий фактор — это сухой воздух в Арктике у поверхности, который не дает перемешиваться с более влажным и холодным воздухом в тропосфере. По мимо нагревания воздуха из-за глобального потепления, ветра переносят теплый воздух с более южных широт в Арктику и согревает ее.

Ещё одним природным фактором является сокращение площади поверхности льдов. Льды отражают свет и тепло, почва поглощает их и нагревается, увеличивая температуру вокруг [2].

Меньшими источниками являются термиты, которые разлагают растительный материал в тропических экосистемах; океаны, на дне которых образуется твёрдый гидрат метана, наилучшими условиями для его образования являются высокое давление воды и низкая температура.

Важное место в интенсификации выделения метана занимает антропогенная деятельность человека.

Одна треть выделения метана приходится на сельское хозяйство, а точнее на разведение домашнего скота. У них метан вырабатывает как часть нормального процесса пищеварения. Также, это газ образуется при хранении или обработке навоза, например, каждая корова ежедневно отправляет в атмосферу порядка 300 литров газа.

Второе место занимают энергетика и промышленность, этот сектор составляет четверть выбросов метана. Утечки метана происходят при производстве, переработке, хранении, транспортировке и распределении природного газа, также при производстве, переработке, транспортировке и хранении сырой нефти.

Следующая причина выделения метана — это отходы от домов и предприятий, полигоны ТБО (твёрдых бытовых отходов). Метан образуется на свалках при разложении отходов и при очистке сточных вод.

Меньшим источником выделения метана являются лесные пожары, во время которых газ образуется из-за неполного сгорания биологического материала [3].

Таким образом самыми сильными причинами интенсификации выделения метана являются таяние вечной мерзлоты и промышленная и хозяйственная деятельности человека.

Особое внимание стоит уделить таким природным зонам как тундра, лесотундра и тайга, для которых характерна вечная мерзлота. Зонами сплошного распространения вечной мерзлоты подвержены ледниковые, полярнопустынные, арктотундровые, тундровые типичные, тундровые южные, лесотундровые, северотаёжные ландшафты, а также гольцовый пояс, горные тундры и каменистые пустыни, пояс редколесий. К прерывистой и островной мерзлоте относятся тундровые типичные, тундровые южные, лесотундровые, северотаёжные ландшафты, пояс горных тундр и гольцов, пояс темнохвойных редколесий [4].

Так как данные области являются областями с вечной мерзлотой, то они больше других страдают от глобального потепления, а, следовательно, из-за таяния являются источниками выделения метана.

В более южных зонах, таких как пустыня, степи, лесостепи, смешанные и широколиственные леса, выделение метана происходит в основном от антропогенной деятельности человека [5].

В северных зонах, таких как тайга и тундра, выделение метана в основном происходит из-за природных факторов. Самый сильный из них это таяние вечной мерзлоты. Но несмотря на то, что данные зоны неблагоприятны для жизни людей, промышленность в этих зонах тоже играет немалую роль [6].

Факторы выделения метана приводят к активизации глобального потепления, где глобальное потепление наиболее сильное влияние проявляет в полярных и субполярных регионах, что в свою очередь влияет на таяние вечной мерзлоты.

Для исследований в данной работе за основу были взяты данные по выделению метана с базы данных выбросов для глобальных атмосферных исследований (ED), которые на основе данных с других организаций, расчётным способом определяли интенсивность выделения метана. EDGAR предоставляет данные оценки выбросов трех основных парниковых газов (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) и фторированных газов в разных разрезах и разные по характеру типа метана, то есть по генезису происхождения. EDGAR предоставляет глобальные прошлые и современные антропогенные выбросы парниковых газов и загрязнителей воздуха по странам и в пространственной сетке [7, 8].

Для первичного исследования была выбрана территория западной Сибири в пределах России, располагающейся от Уральских гор до реки Енисей. Для первого этапа, оценки динамики выделения метана по регионам за некоторые года, были выгружены данные с базы данных выбросов для глобальных атмосферных исследований (EDGAR) [18] и преобразованы для визуализации, с помощью программы QGIS 3.28.1. Для оценки динамики выделения метана были взяты крайний года 1970 и 2021.

Были сделаны следующие выводы:

- количество метана увеличивалось в каждой зоне, преимущественно в зоне тайги и южных природных зонах;
- увеличение метана с каждым годом подтверждается. В основном оно происходит из-за антропогенной деятельности человека в южных природных зонах и такого природного фактора, как таяние вечной мерзлоты в тайге.
- по подсчитанному коэффициенту озёрности на некоторых участках было подтверждено таяние вечной мерзлоты.

### **3 Динамика выделения метана по ключевым участкам территории распространения вечной мерзлоты России**

В третьем разделе были проведены исследования на территории России в пределах многолетней мерзлоты по природным зонам. На данной территории рассчитывался коэффициент озёрности, а также соотношение

природного и антропогенного фактора выделения метана. Проведена оценка зон с выделением метана и таяния вечной мерзлоты.

Для исследования территория были выделены 16 различных типов зона на основе вида многолетнемёрзлых пород и природных зон. В пределах каждой зоны были выделены 52 тестовых участка для изучения по ним коэффициента озёрности.

С помощью космических снимков и классификации с обучением в программе QGIS 3.22.9 была подсчитана динамика коэффициента озёрности с 2000 по 2020 года.

По динамики коэффициента озёрности можно проследить следующее:

- очень высокий коэффициент озёрности наблюдается в тайге в зоне сплошного распространения ММП мощностью от 200 до 900 м и ниже;
- высокий коэффициент - в зонах тундры и лесотундры в зоне сплошного распространением (200-900 м и ниже);
- средний коэффициент – области тайги и тундры в зоне островного распространения (мощностью от 0 до 100 м); лесотундра в зонах сплошного распространения (50-400 м);
- низкий коэффициент - в тайге и тундре в зонах сплошного распространения (50 до 400 м);
- очень низкий - в областях высотной поясности; в лесостепях, смешанных лесах и лесотундре в зоне островного распространения (0-100 м).

Следовательно, так как наибольший коэффициент озёрности прослеживается в зонах тайги, лесотундры и тундры, то в этих зонах наиболее интенсивно происходит таяние вечной мерзлоты по природному фактору, а, следовательно, большое количество выделения метана.

Антропогенный фактор является достаточно мощным источником выделения метана, но распространён по всей территории вечной мерзлоты неравномерно. Поэтому были рассмотрены существующие хозяйственные освоения и объекты транспортной инфраструктуры в пределах вечной мерзлоты.

Промышленная и электроэнергетическая деятельность преимущественно распространена в южной и западной частях вечной мерзлоты, где приурочены такие природные зоны как тайга, лесотундра и тундра в северных областях и смешанные леса, лесостепи в южных областях. На остальной территории распространения ММП данный вид деятельности присутствует, но в малой концентрации распространения [9].

Такая транспортная инфраструктура как нефтегазовые трубопроводы, распространена в южной части территории с ММП [10].

Получается, что антропогенная деятельность человека распространена в основном в южных природных зонах на территории многолетней мерзлоты, а также в её западной части, в зонах тайги, лесотундры и тундры.

Помимо распространения объектов антропогенной деятельности важно проанализировать долю выделения метана, приходящуюся на эту деятельность. Для этого были взяты два типа данных по выделению метана: суммарные и по типу антропогенной деятельности за 20 лет с базы данных выбросов для глобальных атмосферных исследований (EDGAR) [7]. Данные были преобразованы и обработаны с помощью программы QGIS 3.22.9. Был произведён расчёт доли выделения метана, приходящиеся на природный и антропогенный фактор. При этом антропогенный фактор был разбит ещё на три составляющие: промышленность и энергетика, сельское хозяйство, ТБО.

По данным исследования можно сделать следующие выводы:

1. Границы зон с преимущественно антропогенным фактором выделения метана в разрезе 20 лет не изменились, но изменилась доля приходящиеся на антропогенный фактор. В лесостепях и степях на островном распространении ММП и лесотундре на сплошном распространении ММП мощностью 50-400 м, доля антропогенного воздействия стала меньше и повысилась доля природного фактора. В тайге и лесотундре на сплошном распространении ММП мощностью 200-900 м и ниже, наоборот, доля выделения метана от антропогенного фактора увеличилась;

2. По группам антропогенных факторов. В 2000 году в лесостепи и

смешанных лесах на островном распространении ММП преимущественно выделение метана шло от промышленности и энергетики, а в 2020 году доли изменились, промышленность уменьшилась; в лесостепи выделение метана увеличилось от сельского хозяйства, а в смешанных лесах от полигонов ТБО.

В лесотундре на сплошном распространении ММП с мощностью 50-400 м преимущественно выделение метана идёт от промышленности и энергетики, в 2020 году по сравнению с 2000 годом эта доля уменьшилась, но незначительно.

В тайге и лесотундре на сплошном распространении МПП мощностью 200-900 м и ниже в 2000 году доля распределения выделения метана по группам относительно равномерная, в 2020 году доля увеличивается у промышленности и энергетики и полигонов ТБО и уменьшается у сельского хозяйства;

3. Природный фактор как преимущественный источник выделения метана наблюдается в зонах: тундры и лесотундры на сплошном распространении (200-900 м и ниже), и тайги на островном распространении ММП (0-100 м). В этих зонах наблюдается высокие и средние значения динамики коэффициента «озёрности», которые прослеживаются на большей площади распространения по сравнению с площадью зон антропогенного воздействия.

Следовательно, можно предположить, что для данных территорий природный фактор увеличения выделения метана является доминирующим, и приводит к еще большей интенсификации таяния вечной мерзлоты.

**Заключение.** Проведенный с применением ГИС-технологий анализ данных дистанционного зондирования по природным зонам показал:

- в тайге и лесотундре преимущественным фактором таяние вечной мерзлоты на сплошном распространении (200-900 м и ниже) и выделения метана является интенсификация антропогенной деятельности человека на фоне протекающих природных процессов, что подтверждается высокой динамикой увеличения коэффициента озёрности за 20 лет (порядка 3,5-4,5%);

- в тундре и тайге, соответственно, со сплошным распространением (200-900 м и ниже) и островном / сплошном распространении (50-400 м) таяние вечной мерзлоты связано преимущественно с антропогенной деятельностью человека, которая формирует и определяет значительное увеличение выделения метана на этих территориях, которые являются дополнительными фактором парникового эффекта в общем развитии глобального потепления на территории Земли и характеризуется увеличением коэффициента озёрности за 20 лет на среднее и высокие значения (порядка 2,0-3,5%);

- для отдельных территорий тундр, арктических пустынь и областей высотной поясности выделение метана обусловлено таянием вечной мерзлоты под воздействием природных факторов глобального потепления.

На большей части территории России, покрытой вечной мерзлотой, проявляется значительное повышение выделение метана, что обусловлено не всегда хозяйственной деятельностью человека.

#### **Список использованных источников.**

1 Глобальное потепление климата в России и мире [Электронный ресурс]: CLEANBIN.RU - URL: [https://cleanbin.ru/problems/global-warming#Fakty\\_o\\_globalnom\\_potepnenii](https://cleanbin.ru/problems/global-warming#Fakty_o_globalnom_potepnenii) (дата обращения: 26.03.2024) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

2 Ишков, А.Г., Грачёв В.В., Д. Весслинг под ред. Ишков А. Г. Роль метана в изменении климата / А.Г. Ишков, В.В. Грачёв, Д. Весслинг. - 2018 [Электронный ресурс]: Роль метана в изменении климата - URL: [file:///C:/Users/36/Documents/курсовая%20работа%201/rol\\_metana\\_v\\_izmenenii\\_klimata.pdf](file:///C:/Users/36/Documents/курсовая%20работа%201/rol_metana_v_izmenenii_klimata.pdf) (дата обращения: 26.03.2024) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

3 Последствия огня: какой вред климату наносят лесные пожары [Электронный ресурс]: Национальные проекты России - URL: <https://национальныепроекты.рф/news/posledstviya-ognya-kakoy-vred-klimatu-panosyat-lesnye-rozhary> (дата обращения: 07.04.2024). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

