

Арктика и Антарктика

Правильная ссылка на статью:

Хименков А.Н., Станиловская Ю.В. Воронки газового выброса как объект геокриологии (Часть 2). Кольцевые структуры, сотовые льды // Арктика и Антарктика. 2025. № 3. DOI: 10.7256/2453-8922.2025.3.73826 EDN: VBFOHP URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=73826

Воронки газового выброса как объект геокриологии (Часть 2). Кольцевые структуры, сотовые льды

Хименков Александр Николаевич

кандидат геолого-минералогических наук

ведущий научный сотрудник; Институт геоэкологии РАН

101000, Россия, г. Москва, Уланский проезд, 13, стр. 2

 a_khimenkov@mail.ru



Станиловская Юлия Викторовна

Специалист по взаимодействию инфраструктуры и мёрзлых пород, Тоталь

101000, Россия, г. Москва, ул. Лесная, 7

 e-mail:ulyia.stanilovskaya@total.com



[Статья из рубрики "Природные ресурсы Арктики и Антарктики"](#)

DOI:

10.7256/2453-8922.2025.3.73826

EDN:

VBFOHP

Дата направления статьи в редакцию:

24-03-2025

Аннотация: Данная публикация является второй частью статьи, в которой, на основании анализа имеющихся в научной литературе данных, показана значительная роль криогенного фактора, на подготовку пневматических взрывов в толще многолетнемёрзлых пород. Объектом исследования является локальные криогенные газодинамические геосистемы, развитие которых приводит к пневматическому взрыву и формированию воронок газового выброса. Предметом исследования являются морфология и строение криогенных образований в мёрзлых породах, слагающих воронки газового выброса, обнаруженных на севере Западной Сибири. Авторы

подробно рассматривают такие аспекты темы, как анализ и обобщение данных по криогенному строению различных элементов воронок газового выброса. Особое внимание уделено рассмотрению криогенных образований, связанных с пластическими деформациями верхней части мёрзлых толщ и формированию субвертикально ориентированных образований за пределами воронок, связанных с напорным воздействием газа. Основным методом, используемым в данной статье, является анализ материалов научных публикаций по рассматриваемой теме, а также данных лабораторного моделирования проведённого авторами. Синтез анализируемых материалов осуществлялся на базе геосистемного подхода. Значительный интерес представляет обнаружение в ряде воронок кольцевых структур, связанных со сдвиговыми деформациями в краевых частях газонасыщенных штоков. Особый интерес и новизна исследования заключается в изучении ячеистых льдов. Данные льды и формирующие их процессы не рассматривались ранее в геокриологии. Они узкой зоной прослеживаются вдоль стенок кратера от его дна и до верхнего края сужающейся части, значительно деформированы и отделены от остальных пород воронки трещинами. В верхней части воронки зона ячеистых льдов внедряется в слоистый ледогрунтовый массив, образуя ядро жёсткости в виде ледяного блока. Криогенные образования в виде ячеистых льдов свидетельствуют о силовом воздействии поднимающегося снизу газа на мёрзлые вмещающие породы. Основной вывод, 2 части статьи следующий. Локальная газодинамическая геосистема, подготавливающая пневматический взрыв, состоит из парагенетически связанных динамических криогенных подсистем, обладающих своим специфическим криогенным строением.

Ключевые слова:

многолетнемёрзлые грунты, пластические деформации, разрывные деформации, сдвиговые деформации, фильтрация газа, газовые флюиды, флюидогеодинамика, ледогрунтовые газонасыщенные геосистемы, стадии развития, парагенетические связи

Работа выполнена в рамках государственного задания: № 1022061500209-6-151 FMWM-2025-0003 № 122022400105-9 по теме «Природа и техногенез: геоэкологические проблемы и адаптационные технологии их решения».

Введение

В статье будет проведено рассмотрение криогенного строения мёрзлых грунтов, формирующих стенки воронок газового выброса. Это касается кольцевых слоистых структур, примыкающих к воронкам и сотовых льдов, обнаруженных на поверхности стенок сужающейся части Ямальского кратера. Данные типы криогенного строения, расширяющие знания о динамических процессах в мерзлых массивах, выявлены только в рассматриваемых объектах. Значительные деформации первичного криогенного строения прослеживается не только в грунтах, формирующих воронки, они выявлены и некотором удалении от них. Поэтому будут рассмотрены материалы по строению кернов, полученных из скважины, пробуренной на расстоянии 5 метров от стенки Ямальского кратера.

Публикации посвящёна рассмотрению криогенных структур, связанных с напорными процессами в многолетнемёрзлых породах. Её актуальность определяется со слабой разработанностью теории газодинамических процессов в мёрзлых толщах. Проведение

буровых работ при освоении нефтегазовых месторождений на Арктических территориях, выявило ряд проблем связанных с напорным воздействие газов, содержащихся в многолетнемёрзлых грунтах, на буровые установки. Кроме того, были выявлены образования (воронки газового выброса), которые связаны с пневматическими выбросами мёрзлых грунтов в естественных условиях, представляющими опасность для инженерных объектов. Теоретические аспекты данной проблемы в настоящее время не разработаны.

Новизна исследования заключается в том, что рассмотрение вопросов, связанных с изучением напорных процессов в многолетнемёрзлых грунтах осуществляется посредством анализа строения криогенных структур. Такой подход ранее в научной литературе не использовался. Практически не изучены слоистые ледогрунтовые структуры, в том числе и кольцевые, формирующиеся при сдвиговых деформациях, и смещении блоков мёрзлых пород относительно друг друга. Такие смещения возникают в растущих многолетних буграх пучения, в повторно жильных льдах, основаниях курумов и каменных глетчеров. Новым является и анализ строения сотовых льдов, уникальных криогенных образований, формирующихся при газодинамических процессах в многолетнемёрзлых грунтах.

Основным методом, используемым в данной статье, является анализ фото и видео материалов, фиксирующих элементы криогенного строения воронок газового выброса, приведённых в различных открытых источниках. Синтез анализируемых материалов, осуществлялся на базе геосистемного подхода.

Результаты

В данном разделе приведены результаты анализа фото и видео материалов, полученных из различных источников (научные публикации, видеорепортажи, фотографии находящиеся в свободном доступе в интернете и др.). Анализируются различные типы криогенного строения, не рассматриваемые ранее в научной литературе, но характерные для воронок газового выброса.

Кольцевые структуры, приуроченные к стенкам воронок газового выброса

Одними из самых необычных образований в воронках газового выброса являются кольцевые структуры. Они формируют стенки воронок и представляют субвертикально ориентированные образования, состоящие из чередующихся слоев чистого льда и ледогрунта, или серии концентрических трещин (рис. 1 - 5). В горизонтальном срезе они образуют кольцевые структуры толщиной от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров. В Ямальском кратере кольцевая структура состоит из чередующихся ледогрунтовых слоев толщиной 0,5-2,5 см (рис. 1) [\[1\]](#). Грунты кольцевой структуры местами сильно деформированы, наблюдаются пластические и разрывные деформации, следы течения.

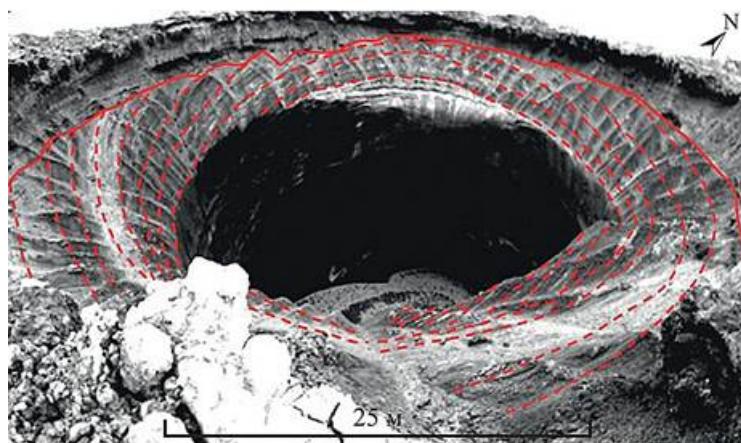


Рис. 1. Кольцевая структура, облекающая Ямальский кратер. Обозначения: пунктирными линиями показано направление субвертикальных слоев в зоне, прилегающей к стенкам кратера; сплошной линией — нижняя граница деятельного слоя. Фото В.В. Оленченко

На рис. 2 изображена слоистость льда в стенке кратера в месте перегиба от вертикальной сужающейся части к расширяющейся воронкообразной верхней части.



Рис. 2. Субвертикальная слоистость льда кольцевой структуры, окаймляющей

Ямальский кратер Июль 2014 г [\[2\]](#).

Поскольку формированию Ямальского кратера предшествовал рост многолетнего бугра пучения, то обоснованно можно предположить, что наблюдаемая кольцевая структура образовалась при продавливании мёрзлого массива своеобразным штампом, представляющим из себя газонасыщенное ледогрунтовое тело. В этом случае, в зоне сдвиговых деформаций происходит отжатие вмещающих пород и формирование кольцевых структур за счёт полной перестройки первичного криогенного строения.

Кроме наиболее изученного Ямальского кратера, кольцевые структуры выявлены и в других воронках. В Антипаутинской воронке обнаруженной на севере Гыданского полуострова кольцевая структура чётко прослеживается, формируя её стенки (рис. 3). Срез в горизонтальной плоскости выявляет чередующиеся слоистые ледогрунтовые текстуры. В вертикальный срезе, соответствующем гладкой поверхности стенки, газовые и минеральные включения образуют изометричные плоские фигуры с вертикальной полосчатостью (рис. 3). Причиной данного соотношения наблюдаемых форм является смещения слоёв относительно друг друга в вертикальном направлении.



Рис. 3. Кольцевая структура Антипаютинской воронки. Фото Михаила Лапсух

В строении стенок Еркутинской воронки наблюдаются формирование кольцевой структуры. В плоскости стенок прослеживаются многочисленные пластические деформации. Часть слоёв задрана вверх и отжата в сторону (рис. 4). Грунты, непосредственно прилегающие к стенкам воронки, также деформированы (смяты), первичная слоистость не прослеживается.



Рис. 4. Кольцевая структура воронки газового выброса вблизи

р. Еркута Яха (Еркутинская воронка) Скриншот видео [\[2\]](#)

В обнаруженной в 2020 г. воронке также наблюдается субвертикальная слоистость льда, образующая кольцевую структуру на контакте с вмещающей глинистой толщей (рис. 5). Вблизи от стенок воронки прослеживается зона значительной деформации первичного криогенного строения. Сетчатые криотекстуры, наблюдаемые на удалении от стенок воронки, полностью разрушены.

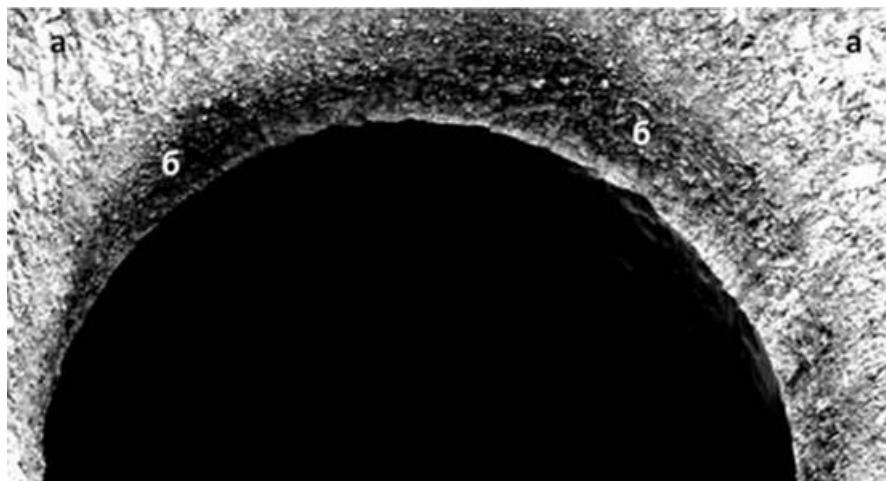


Рис. 5 Криогенное строение контактной зоны мёрзлых слоистых суглинков, вмещающих ворону, обнаруженную в 2020г. а) первичные сетчатые криотекстуры с преобладанием вертикальных шлиров; б) зона деформации первичных криотекстур, примыкающая к стенке воронки. Фото Е. М. Чувилина [\[3\]](#)

Сотовый лёд

Сотовый лёд, является уникальным криогенным образованием, не отмеченным ранее в мёрзлых породах. Этот тип льда выделен М. О. Лейбман и А. И. Кизяковым при изучении Ямальского кратера. Данное образование, выделенное ими, как ячеистая зона, представляет собой деформированную сотовую структуру, резко отличающуюся по своему строению от других типов криотекстур, распространённых в кратере. Плоскость сотового льда расположена между двумя системами трещин со следами смещения и глиной трения [\[4\]](#).

Нами были проанализированы снимки сделанные летом 2014г (рис. 6), ноябре 2014г, (рис. 7) и летом 2015 г (рис. 8, 9). Удалось выяснить, что зона сотового льда распространяется от нижней части кратера до уровня верхней расширенной части.



Рис. 6. Стенка воронки с прослойем пузырчатого льда белого цвета (1) и сотового (2), отделенной от гладкой поверхности трещинами (3) [\[4\]](#).

Данный лёд занимает значительную часть поверхности Ямальского кратера. Зона сотового льда, имеющая клиновидную форму, протягивается от нижней расширенной

части кратера, до верха его сужающейся части. На фотографии, сделанной в ноябре 2014 г хорошо видно, как сотовый лёд внедряется под углом в слоистую толщу и упирается в слой белого пузырчатого льда (рис. 7). В зоне контакта эти два типа льдов претерпевают значительные деформации (рис. 7, 8). На рис. 8 показано строение сотового льда, вблизи контакта с пузырчатым льдом, рассмотренного в двух плоскостях. Горизонтальный срез даёт слоистую текстуру (8 а). Вертикальный срез (рис. 8 б) показывает, что сотовая структура деформирована, сотовые ячейки сжаты под воздействием концентрических напряжений действующих от центра кратера в сторону его боковых поверхностей.

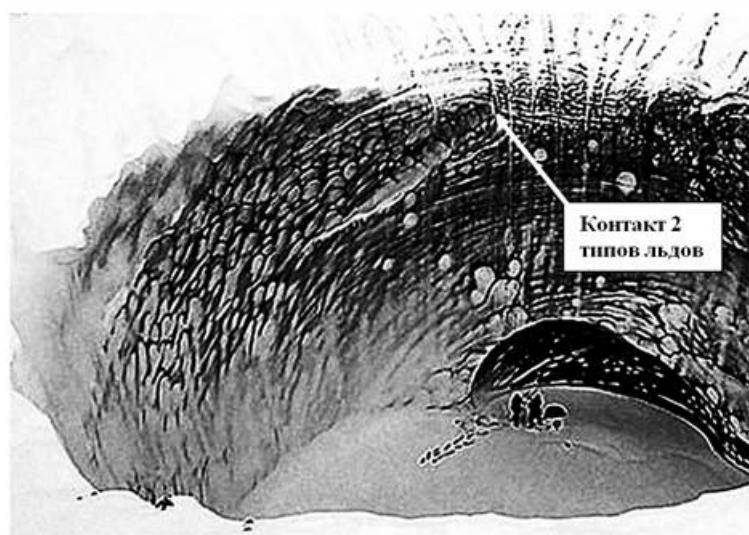


Рис. 7. Зона сотового льда, прорывает горизонтально слоистую толщу и упирается в слой деформированного пузырчатого льда.

Ноябрь 2014 г. Фото В.А. Пушкарева.

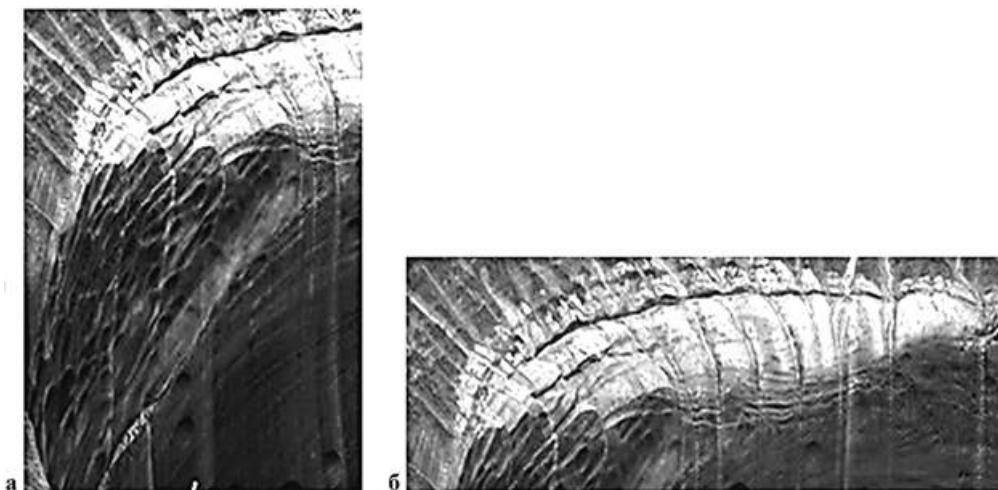


Рис. 8. Строение слоя ячеистого льда в верхней части кратера: а — вертикальный срез зоны сотового льда; б — горизонтальная поверхность зоны ячеистого льда (июль 2014 г.)

Фото В. В. Оленченко

Летом 2015 слой сотового льда на контакте с вмещающими породами вытаял. Остались ли его отдельные фрагменты. На рис 8, 9 видно, что сильно деформированный сотовый лёд (соты трансформированы в слои разделённые перегородками) формируя складки

нагнетания, внедряющиеся в грунтовый массив. В головной части зоны внедрения располагается изометричный блок газонасыщенного льда. Он представляет собой своеобразное ядро жёсткости, продавливая и деформируя вмещающий мёрзлый массив.

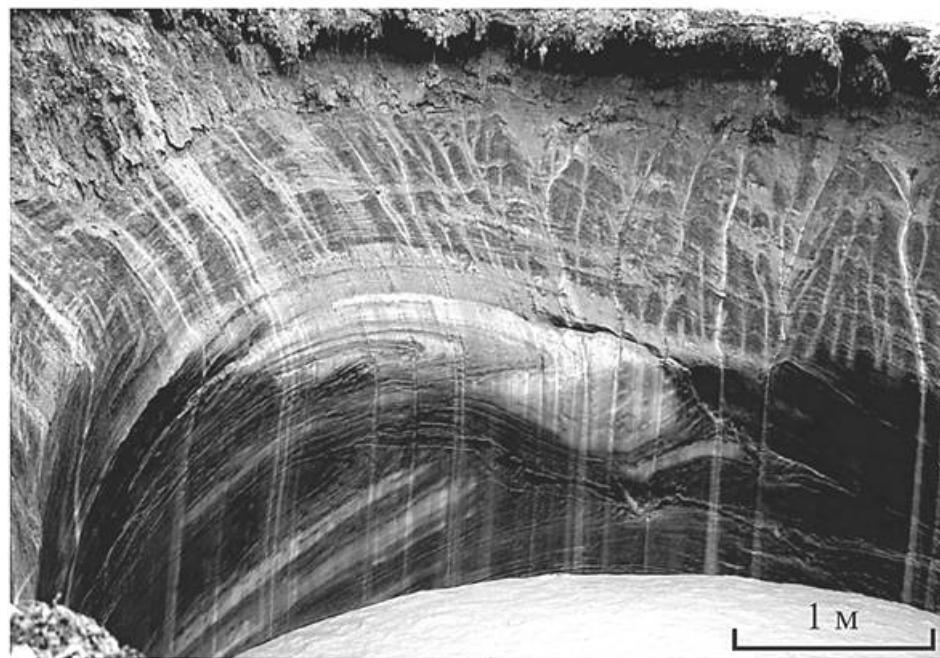


Рис. 9. Блок деформированного газонасыщенного льда, «вдвинутый» в слоистый ледогрунтовый массив. Июль 2015 г. Фото А.В. Лупачева.

Криогенное строение верхней расширенной части ВГВ

Расширенные части воронок газового выброса изучены слабо, это связано с их слабой сохранностью за счёт интенсивного вытаивания летом и перекрытия снегом в зимний период. Наиболее сохранившейся и поэтому лучше изученной является расширенная часть Ямальского кратера. Здесь кровля воронки сложена слоистыми суглинками. Первичная горизонтальная слоистость суглинков деформирована и представляет собой куполовидный свод, сформированный над локальной зоной силового воздействия со стороны газонасыщенных мёрзлых грунтов. Деформация первичной слоистости приводит к формированию бугра пучения высотой около 8 м и диаметром около 50 м. Образовавшийся в кратере водоём чётко фиксирует изгиб слоёв, нижняя часть которых погружается в воду сформированного в воронке водоёма (рис. 10).

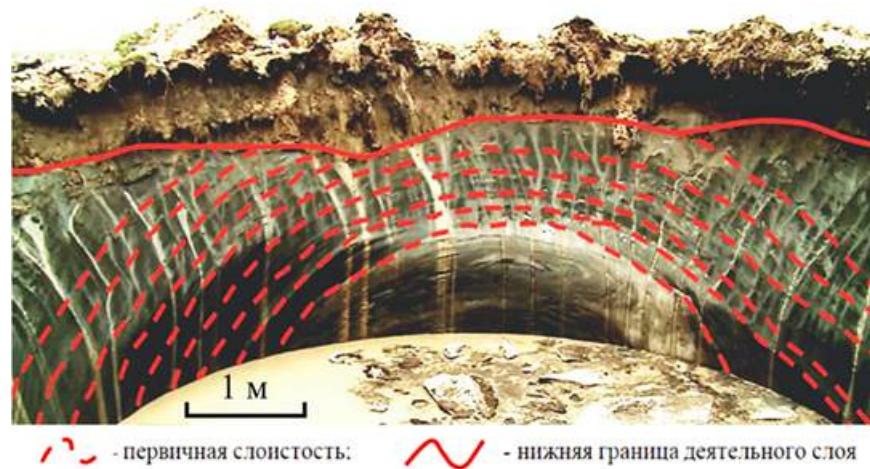


Рис. 10. Куполовидная деформация кровли Ямальского кратера

(июль 2015). Скриншот видео [\[5\]](#)

Имеются примеры иного строения расширенной части воронки газового выброса. На рис. 11 показано строение верхней части разреза грунтовой толщи Сеяхинской воронки газового выброса, образовавшейся в июне 2017 г., в русле реки Мордыяхи, обследованной В.И. Богоявленским с коллегами [\[6\]](#). Здесь массив льдонасыщенных суглинков внедряется в перекрывающую песчаную толщу, приподнимая и сдвигая её.

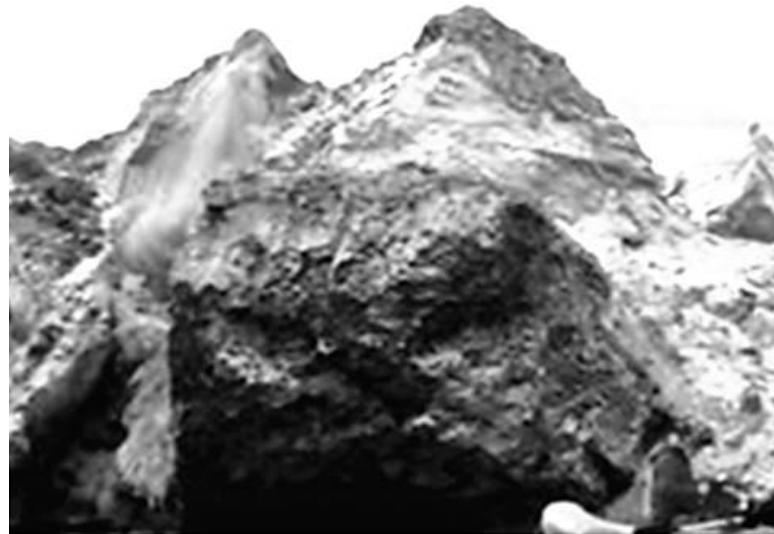


Рис. 11. Блок льдистого суглинка, деформирует толщу перекрывающих песков Фото В.И. Богоявленского [\[6\]](#)

Особенности криогенного мерзлой породы вблизи воронок

Специалистами Кафедры геокриологии МГУ им. М. В. Ломоносова, было изучено криогенное строение мёрзлых пород в непосредственной близости от Ямальского кратера. Материалы исследований В. З. Хилимонюк с коллегами показывают, что криогенное строение мёрзлых пород вблизи кратера резко отличаются от строения более удалённых участков [\[7\]](#). Пробуренная ими скважина № 7 глубиной 16 м, находится в 5 метрах кратера. Здесь в строении мёрзлых грунтов наблюдаются значительные пластические и разрывные деформации. Отличительной чертой криогенного строения является субвертикальная слоистость, газовых и минеральных включений. На расстоянии 30 м в скважине 5, пробуренной на той же поверхности хасырея, вертикальная слоистость уже не наблюдается [\[7\]](#). Рассмотрим данные по криогенному строению кернов мёрзлых пород из скважины № 7.

На глубине 5,8 – 6,3 м вскрыт слой плотного газонасыщенного (молочного льда) с субгоризонтальной слоистостью. Лёд разбитого вертикальными и горизонтальными трещинами и извилистыми каналами субвертикальной ориентировки [\[8\]](#). Видны многочисленные следы пластических и разрывных деформаций (рис. 12).



Рис. 12. Газонасыщенный (молочный лёд) лёд с горизонтальной слоистостью, со значительными пластическими и разрывными деформациями (скважина № 7, глубина 5,8-6,3 м). Фото В. З. Хилимонюк [\[8\]](#).

Ниже, субвертикально ориентированная слоистость, становится преобладающей. В слое льда, вскрытого на глубине 7, 5 м. Она образована прослойками разных оттенков прозрачного и окрашенного (за счет гуминовых кислот) льда с множеством включений пузырьков газа. Кристаллы льда деформированы. Прослеживаются вертикально ориентированные цепочки газовых и минеральных включений, а также трещины и сколы той же направленности. Ниже, на глубине 10,5 м количество минеральных включений в субвертикальных слоях увеличивается (рис. 13).

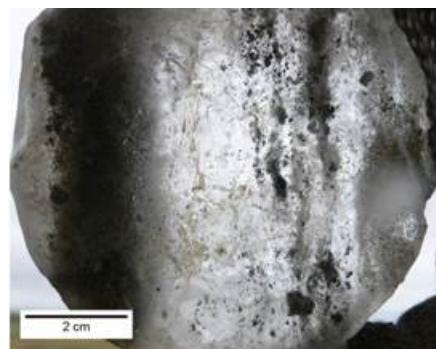


Рис. 13. Строение льда с субвертикальной ориентировкой минеральных включений. Скв. 7, глубина 10,5 м. Фото В. З. Хилимонюк [\[8\]](#).

Обсуждение результатов

Кольцевые структуры, обрамляющие воронки газового выброса в своём строении имеют сходное строение. Прежде всего, это субвертикальная ориентировка слоёв (рис. 1-5). Во всех структурах обнаруживаются признаки, свидетельствующие о значительных нагрузках, связанных с их формированием. Это значительные деформации в самих структурах (рис. 1, 3, 4) и в грунтовом массиве вблизи них (рис 4, 5). Для всех рассмотренных воронок газового выброса, где обнаружены кольцевые структуры, отмечены бугры пучения, предшествующие выбросу газа. Всё это свидетельствует об общности их происхождения, связанного с продавливанием локального грунтового объёма сквозь массив мёрзлых пород. При этом, сами кольцевые структуры развиваются в сдвиговой зоне, формирующейся при смещение грунтовых блоков относительно друг друга.

В геокриологии изучение структурно-текстурных изменений при приложении нагрузок к

мёрзлым породам продолжается уже около ста лет. По результатам лабораторных исследований С. С. Вяловым [9], Н. А. Цытовичем [10], Э.Д. Ершовым [11, 12] и др., было выявлено, что при одноосном деформировании компрессионном уплотнении и сдвиге происходит преобразование микростроения мёрзлых пород. В зависимости от интенсивности приложения нагрузки или скорости деформирования мёрзлых пород характер преобразования их микростроения различен. В. И. Соломатиным выделена последовательность изменения структурных механизмов динамометаморфизма льда, основанная на учёте изменений величины и скорости нагрузки. К данным механизмам относятся: пластические механизмы (искривление граней и границ кристаллов, двойникование, линии скольжения), рекристаллизация (локальная, объёмная, сублимация, режесяция), хрупкие механизмы (полигонизация, внутрикристаллические трещины) [13]. Экстраполируя данный вывод на мёрзлые грунты в целом, можно выделить ряды изменений в мёрзлых породах, отражающих смену деформационных процессов на фоне увеличивающейся нагрузки: 1. Внешние изменения ещё не проявились, но внутренние связи ослабевают, наблюдается полигонизация внутри кристаллов, милонитизация на контактах кристаллов. 2. Первичная структура в целом сохраняется, при этом наблюдаются отдельные микроразрывы сплошности без смещения. 3. Нарушение первичной слоистости пород в зонах возникновения повышенных давлений. 4. Фиксируются незначительные смещения отдельных фрагментов криогенного строения, но структура в целом сохраняется 5. Наблюдаются локальные смещения в виде отдельных зон, внутри которых происходит полная перестройка первичной структуры. 6. Формируются объёмные потоковые слоистые ледогрунтовые структуры, внутри которых могут наблюдаться отдельные блоки с первичным строением [14, 15].

Формирование зоны сотового льда, вероятно, происходило на заключительной стадии подготовки пневматического выброса. Газ под высоким давлением разрывает мёрзлый грунтовый массив в узкой зоне расположенной между газонасыщенным штоком и вмещающим мёрзлым массивом. На это указывают две системы трещин со следами смещения и глиной трения [4] и многочисленные структурные элементы криогенного строения со следами пластических и разрывных деформаций, сплющенные сотовые ячейки, а также силовое воздействие на массив пузырчатого льда. Рассмотренные материалы свидетельствуют о силовом воздействии поднимающегося снизу газа на мёрзлые вмещающие породы и формировании специфических криогенных образований, не рассматриваемых ранее в геокриологии.

Расширенные части воронок газового выброса формируются в буграх пучения, сформированных над локальными газодинамическими геосистемами. Первичное сложение и соответствующее криогенное строение деформировано под воздействием значительных внутригрунтовых нагрузок. Сами деформации формируют систему парагенезов, отражающих интенсивность и пространственную неоднородность возникающих напряжений, под силовым воздействием внутригрунтовых газов. Следует отметить, что при всей морфологической схожести многолетних бугров, сформировавшихся за счёт давления внутригрунтовых газов, их следует отличать от сегрегационных и инъекционных бугров пучения традиционно рассматриваемых в геокриологии. В настоящее время методики разделения данных мерзлотных образований не разработаны.

Исследования показали парагенетическую связь некоторых элементов криогенного строения, стенок кратера и мёрзлых пород, отстоящих от него на небольшом расстоянии. Она выражается в наличии многочисленных пластических и разрывных деформаций, зон дробления, повышенным содержанием газа, наличием субвертикальной слоистости,

секущей первичную горизонтальную слоистость. Данная связь обусловлена общим силовым воздействием на мёрзлые породы, как непосредственно в кратере, так и на некотором расстоянии от него. Причём, если субвертикальная слоистость в стенках кратера выражена за счёт чёткого чередования ледогрунта и льда, то на расстоянии 5 м она уже менее выражена, а при удалении на 30 м исчезает совсем. Исходя из особенностей рассмотренного криогенного строения пород, слагающих стенки кратера и близлежащих участков, общим источником силового воздействия, формирующим наблюдаемые деформации, является поступающий снизу газ, находящийся под значительным давлением.

Заключение

Криогенные структуры, рассмотренные в статье, свидетельствуют о значительных внутригрунтовых нагрузках и соответствующих им деформациям и новообразованиям первичного криогенного строения мёрзлых грунтов.

Кольцевые структуры формируются на границе сдвига газонасыщенного мёрзлого штока относительно вмещающих пород. Следует отметить, что сдвиговая зона может выходить за пределы наблюдаемых границ воронок газового выброса. На это указывает криогенное строение грунтового массива в 5 метрах от стенки Ямальского кратера.

Приуроченность сотового льда к стенкам воронок связана с образованием сдвиговой зоны и увеличением газовой проницаемости мёрзлых пород в ней.

Деформацию первичной слоистости можно обоснованно связать с давлением газонасыщенного штока сформировавшегося над локальной зоной аномально высокого пластового давления газа.

Библиография

1. Галеева Э.И., Курчатова А.Н., Рогов В.В., Слагода Е.А. Сравнительный анализ строения полигонально жильных льдов // Материалы пятой конференции геокриологов России. МГУ имени М.В. Ломоносова, 14-17 июня 2016 г. Т. 2, Ч. 5. Региональная и историческая геокриология. Москва: Университетская книга, 2016. С. 291-297. EDN: YOLUOB.
2. Официальный сайт RT. Тайна Ямальского кратера: корреспондент RT попытался разгадать загадку сибирских воронок. 2015. URL: <https://russian.rt.com/article/105424> (дата обращения: 15.04.2021).
3. Bogoyavlensky V., Bogoyavlensky I., Nikonorov R., Kargina T., Chuvilin E., Bukhanov B., Umnikov A. New Catastrophic Gas Blowout and Giant Crater on the Yamal Peninsula in 2020: Result of the Expedition and Data Processing // Geosciences. 2021. Vol. 11, No. 71.
4. Лейбман М.О., Кизяков А.И. Новый природный феномен в зоне вечной мерзлоты // Природа. 2016. № 2. С. 15-24.
5. Блог "Мир вокруг: разное". На Ямале обнаружили новую воронку в земле. 2017. URL: http://raznoe.blogspot.com/2017/07/blogspot_9.html (дата обращения: 15.04.2021).
6. Богоявленский В.И., Сизов О.С., Мажаров А.В., Богоявленский И.В., Никонов Р.А., Кишанкова А.В., Каргина Т.Н. Дегазация земли в Арктике: дистанционные и экспедиционные исследования катастрофического Сеяхинского выброса газа на полуострове Ямал // Арктика: экология и экономика. 2019. № 1 (33). С. 88-105. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-1-88-105. EDN: TUHSJS.
7. Хилимонюк В.З., Оспенников Е.Н., Булдович С.Н., Гунар А.Ю., Горшков Е.И. Геокриологические условия территории расположения Ямальского кратера // V конференция геокриологов России. Москва: Изд-во Московского университета, 2016. Т.

2. С. 245-255.
8. Buldovicz S.N., Khilimonyuk V.Z., Bychkov A.Y., Ospennikov E.N., Vorobyev S.A., Gunar A.Y., Gorshkov E.I., Chuvalin E.M., Cherbunina M.Y., Kotov P.I., Lubnina N.V., Motenko R.G., Fmanzhurov R.M. Supplementary Materials for Cryovolcanism on the Earth: the Origin of the Spectacular Crater in Yamal Peninsula (Russia) // Scientific Reports. 2018. Vol. 8.
9. Вялов С.С. Реологические свойства и несущая способность мёрзлых грунтов. Москва: Изд-во АН СССР, 1959. 191 с.
10. Цытович Н.А. Механика мёрзлых грунтов: учебное пособие. Москва: Высшая школа, 1973. 448 с.
11. Микростроение мёрзлых пород / Под ред. Э.Д. Ершова. Москва: Изд-во МГУ, 1988. 183 с.
12. Основы геокриологии. Ч. 1: Физико-химические основы геокриологии / Под ред. Э.Д. Ершова. Москва: Изд-во МГУ, 1995. 368 с.
13. Соломатин В.И. Физика и география подземного оледенения: учебное пособие для вузов. Новосибирск: Академическое изд-во "Гео", 2013. EDN: VNJXSZ.
14. Хименков А.Н., Гагарин В.Е. Подходы к изучению деформаций в многолетнемёрзлых грунтах // Арктика и Антарктика. 2022. № 2. С. 36-65. DOI: 10.7256/2453-8922.2022.2.38229 EDN: EJTVLL URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=38229
15. Хименков А.Н., Кошурников А.В., Станиловская Ю.В. Парагенезы криогенных образований воронок газового выброса (2 Часть). Криогенный фактор в формировании воронок газового выброса // Арктика и Антарктика. 2021. № 3. С. 57-79. DOI: 10.7256/2453-8922.2021.3.35505 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=35505

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Предметом исследования является изучение криогенного строения мёрзлых грунтов, формирующих стенки воронок газового выброса. Название статьи, в связи с этим, не соответствует ее содержанию и является очень обобщенным. Автор должен понимать, что научная статья должна четко соответствовать требованиям журнала по структуре. В данной статье это требование нарушено.

Тема исследований весьма актуальна для территорий криолитозоны. Изучение типов криогенного строения воронок газового выброса расширяет знания о динамических процессах в мерзлых массивах. Значительные деформации первичного криогенного строения прослеживаются не только в грунтах, формирующих воронки, они выявлены и на некотором удалении от них. Поэтому актуальным является изучение кольцевых слоистых структур, примыкающих к воронкам и сотовым льдам, обнаруженных на поверхности стенок сужающейся части Ямальского кратера.

Методология и новизна исследования автором не представлена в статье. Автор уверен, что данная статья является неотъемлемой частью 2 предыдущей статьи, поэтому не отразил методологию исследования. Это не верный подход, поскольку каждая научная статья, публикуемая в журналах из списка ВАК, должна строго соответствовать всем предъявляемым к ней требованиям.

Стиль статьи – книжный и соответствует научной монографии. Структура научной статьи не соответствует требованиям журнала (актуальность, новизна, условия и методы исследований, результаты и их обсуждения и заключение).

В тексте много опечаток и неверных окончаний в словах. Например, в предложении «Значительные деформации первичного криогенного строения прослеживается не только в грунтах...» необходимо писать: «Значительные деформации первичного криогенного строения прослеживаются не только в грунтах...». Автор далее по тексту пишет: «Первичная горизонтальная слоистость суглинков деформирована и представляет собой куполовинный свод....», видимо имеется ввиду «куполовидный свод» и т.д. В названии раздела статьи «Особенности криогенного мёзлой породы вблизи вблизи воронок» также имеется опечатка в слове «мерзлой» и повторение слова «вблизи».

Кроме того, автор опять делает ссылку на часть 3 данной статьи, что исключено в случаях с научными статьями, это подчиняется книжному стилю. Автор пишет: «....формирование кольцевых структур за счёт полной перестройки первичного криогенного строения. Подробнее эта тема будет рассмотрена в 3 части статьи» или «Условия формирования сотового льда и его внедрение в массив слоистых ледогрунтов будут рассмотрены в 3 части статьи». В научных статьях применимо цитирование или самоцитирование уже опубликованных источников, а не ссылка на 2, 3 и т.д. части статей.

Не совсем понятно, представлены ли в данной статье результаты собственных исследований автора или они в этой статье отсутствуют?

Последний абзац заключения статьи необходимо перенести в раздел актуальности и новизны исследования.

Библиография статьи включает в себя 42 литературных источника. Апелляция к оппонентам состоит в ссылках на литературные источники.

В выводах статьи отмечено, что кольцевые структуры строения мёрзлых пород вероятнее всего формируются на границе сдвига газонасыщенного мёрзлого штока относительно вмещающих пород. Сдвиговая зона захватывает значительный объём мёрзлых грунтов, на что указывает строение грунтового массива в 5 метрах от стенки Ямальского кратера. Приуроченность сотового льда к стенкам воронок, вероятно, также связана с образованием сдвиговой зоны и увеличением газовой проницаемости мёрзлых пород в ней. Деформацию первичной слоистости можно обоснованно связать с давлением газонасыщенного штока сформировавшегося над локальной зоной аномально высокого пластового давления газа.

Данная статья будет полезна широкому кругу ученых и может быть опубликована в журнале «Арктика и Антарктика» после доработки и устранения выявленных замечаний.