СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	3
1	Общая часть	5
1.1	Бугры пучения- определение и распространение	6
1.2	Физико- географическое описание районов распространения	8
1.3	Геологическое строение исследуемых районов	13
2	Специальная часть	18
2.1	Виды бугров пучения	18
2.1.1	Механизмы формирования, черты строения и климатические условия образования бугров пучения	19
2.1.2	Влияние хозяйственной деятельности на исследуемые формы рельефа	23
2.1.3	Влияние бугров пучения на хозяйственную и промышленную деятельность	24
2.2	Распространение бугров пучения на территории России	27
2.2.1	Юго- восточный Алтай – формирование и распространение бугров пучения в горных районах	27
2.2.2	Бугры пучения на европейском севере России (на примере Кольского полуострова)	30
2.2.3	Бугры пучения на территории Средней Сибири (Республика Саха)	32
2.3	Динамика развития бугров пучения. Современная динамика	36
2.3.1	Механизм формирования миграционных бугров пучения на равнинной части России	37
	Заключение	42
	Список использованной литературы	43

Введение

Формирование бугров пучения — это один из самых опасных процессов для длительно существующих линейных сооружений: дорог, взлетных полос аэродромов, нефте- и газопроводов и др. В настоящее время на 70% территории России, которые занимает криолитозона, нет ни одного протяженного линейного сооружения, которое не подвергалось бы воздействию морозного пучения. Это особенно важно в условиях наблюдающейся в последние годы активизации промышленно-гражданского строительства на данной территории.

Это нашло отражение во всех федеральных, региональных и ведомственных инструкциях и нормативных документах по инженерно-геологическому исследованию, освоению и эксплуатации сооружений.

Ниже приведены выдержки из некоторых нормативных документов.

Согласно п. 3.12 СНиП 2.05.06-85 «Строительные нормы и правила. Магистральные трубопроводы»: «При выборе трассы для подземных трубопроводов на вечномерзлых грунтах следует по возможности избегать участки с буграми пучения…».

Пункт 2.8 ВСН 61-89 по изысканиям, проектированию и строительству автомобильныхдорог в районах распространения вечной мерзлоты гласит: «При трассировании необходимо обходить участки с неблагоприятными мерзлотными и грунтово-гидрогеологическими условиями (…крупные бугры и гряды пучения…)».

Согласно п. 2.12 ВСН 61-89 по изысканиям, проектированию и строительству железных дорог в районах вечной мерзлоты «следует избегать укладки трассы и размещения отдельных сооружений на участках с распространением… бугров пучения, с бессточными заболоченными понижениями местности, на косогорных участках с льдонасыщенными глинистыми и переувлажненными пылеватыми грунтами. Мощные бугры пучения следует, как правило, обходить с низовой стороны...».

В пункте 3.7 ВСН 014-89 «Строительство магистральных и промысловых трубопроводов» сказано: «При выборе трасс и площадок в зоне вечномерзлых грунтов под сооружения следует избегать участков с широким распространением бугров пучения, бугристых торфяников…» Там же в пункте 3.12: «При выборе трассы для подземных трубопроводов на вечномерзлых грунтах следует по возможности избегать участки с… буграми пучения… Бугры пучения следует обходить с низовой стороны».

Актуальность данной работы заключается в исследовании зон, на которых располагаются и формируются бугры пучения, выявлении и прогнозировании образования бугров пучения. Это особенно важно в условиях наблюдающейся в последние годы активизации промышленно-гражданского строительства на данной территории.

Целью работы является исследование возможности определения возникновения бугров пучения, изучение территорий с большой локацией исследуемых форм рельефа.

В соответствии с целью в работе поставлены следующие основные задачи исследования:

– изучить виды бугров пучения, их развитие и формирование;

– проследить распространение бугров пучения на территории России и выявить территории с наибольшей локализацией данных форм рельефа;

– изучить влияние бугров пучения на хозяйственную деятельность, прогнозировать образование бугров пучения на строящихся объектах.

1 Общая часть

Криогенными называют геологические, физические, биохимические и другие процессы, происходящие в самых верхних частях земной коры и обусловленные сезонным и многолетним промерзанием и протаиванием увлажненных рыхлых горных пород, охлаждением мерзлых пород, и замерзанием подземных вод.

Направление и усиление криогенных процессов связаны с качествами накопления четвертичных осадков, с тепловлагообменом в высших горизонтах горных пород, с динамикой замерзания и протаивания. Для рельефообразования наиболее существенное значение имеют, прежде всего, надмерзлотные, циркулирующие в пределах деятельного слоя подземные воды, или СТС (сезонно-талый слой), с которым связаны главные геологические события в областях с увеличением многолетней мерзлоты. Из числа мерзлотных процессов пучение и морозобойное растрескивание грунтов, формирование жильных льдов, образование полигональных форм на поверхности, склоновые процессы и термокарст приобрели самое большое распространение.[1]

Криогенные формы рельефа платформенных областей.

Совокупностью процессов морозобойного растрескивания, вымораживания, пучения, определен комплекс криогенных форм рельефа, протекающий на фоне морозной денудации (разрушения).

Бугристо-западинный ландшафт преимущественно низменных платформенных равнин:

- морозобойные полигоны (тетрагоны, гексагональные формы, валиковые вогнутые полигоны),

- мелкополигональные формы или структурный грунт: (пятна-медальоны, каменные кольца, многоугольники, каменные венки),

- бугры-булгунняхи или пинго,

- гидролакколиты,

- термокарстовые формы рельефа: (термокарстовые озера, аласы, байджерахи),

- плосковыпуклые ледяные тела-наледи,

- миграционные бугры: (бугры-торфянники, земляные бугры, бугры-могильники).

Криогенные формы ландшафта горных склонов и орогенных районов.

Комплекс криогенных форм, определенный совместным действием процессов морозного выветривания, десерпции, солифлюкции, гравитации. [2]

1.1 Бугры пучения- определение и распространение

Бугры пучения, или пинго, или булгунняхи (от якутского «холм, вершина, курган») — это положительные формы криогенного (мерзлотного) рельефа. Они возникают в многочисленных участках на Севере, где распространены многолетнемерзлые породы: в Северной Америке (примерно 3500 бугров), России (более 6000), Скандинавии, Гренландии, Шпицбергене, Монголии, Тибете. Уровень бугров колеблется в пределах от 1 до 50 м и выше, диаметр — от нескольких метров до сотен метров. Бугры пучения формируются при промерзании очень увлажненных грунтов или же водоносных дисперсных пород в результате увеличения их объема. Бугры пучения подразделяются на однолетние и многолетние. Первые возникают при промерзании сезонно-талого и сезонно-мёрзлого слоёв и разрушаются при их протаивании; вторые формируются в ходе длительного промерзания горных пород. При промерзании глинистых грунтов в условиях свободной миграции влаги (открытая водная система) и накопления линз сегрегационного льда в ядрах бугров образуются миграционные бугры пучения. Миграционные бугры пучения возникают при промерзании глинистых грунтов в условиях вольного передвижения влаги (открытая водная система) и накопления линз сегрегационного льда в ядрах бугров. Как правило, они расположены недалеко от южных границ распространения

многолетне-мёрзлых пород и объединены с зонами новообразования мёрзлых толщ, промерзания сквозных таликов или с местами развития торфяников. Когда происходит промерзание закрытых водных систем, воды, проникающие под криогенным напором в мёрзлую кровлю, образуют бугры с линзами инъекционного льда в ядрах (инъекционные бугры пучения). Булгунняхами (СССР) и пинго (Северная Америка) называют инъекционные бугры, которые образуются при промерзании несквозных таликов (под термокарстовыми и другими озерами). [3]

Гидролакколиты — возникающие бугры возле источников подземных вод или в обрамлении наледей при проявлении подземных вод между промерзшей долей талого слоя и верхней поверхностью мерзлой толщи бугры. Формирование бугров пучения (в особенности однолетних), порождает деформации и значительно затрудняет сооружение и использование линейных сооружений (дорог, газо- и нефтепроводов), строений, буровых вышек и др., особенно в обстоятельствах равнин, как при обустройстве нефте- и газовых месторождений Северо-Западной Сибири. Меры борьбы с буграми пучения бывают пассивные (перенесение сооружений с зон формирования бугров пучения) и активные. Активные включают в себя дренаж водоносных пород сезонно-талого слоя и таликов, основание грубозернистых подушек-прерывателей в полотне дорог и под строениями, не допускающих перемещение влаги к фронту промерзания, сегрегационное льдообразование и другое. [2]

В России, в основном, бугры пучения распространены ближе к южной границе зоны вечной мерзлоты, в природных зонах тундры, лесотундры и тайги. Ниже на схеме (рис.1) показаны основные локации бугров пучения на территории России.



Рисунок 1 – Основные локации бугров пучения на территории России

1.2 Физико- географическое описание районов распространения

Вечная мерзлота занимает 65% территории России. По географическому положению она подразделяется на субаэральную, субгляциальную и шельфовую. Субаэральная криолитозона — самая большая по площади — представлена с поверхности многолетнемерзлыми породами. В Европейской части государства она распространена лишь в тундре и лесотундре; от Кольского полуострова ее южная граница направлена к устью реки Мезень, а далее — почти по Северному полярному кругу и до Урала. В Западной Сибири граница криолитозоны простирается вплоть до реки Енисей; возле реки Подкаменная Тунгуска она резко меняет направление, поворачивая на юг и проходит по правому берегу Енисея. К востоку от Енисея мерзлота распространяется на большей части территории, кроме юга Камчатки, острова

Сахалин, Приморья и еще некоторых зон. Мощность мерзлых толщ изменяется от 100–200 м до 1,5 км (Средняя Сибирь). Известно, что под ледниками Земли Франца-Иосифа, Новой Земли, Северной Земли также находится субгляциальная криолитозона, где для нее характерны невероятно малые для высоких широт мощности и очень высокие температуры, а также под ледниками в горах Алтая и на Северо-Востоке России. Шельфовая криолитозона распространена в арктических морях у берегов Сибири. Океаническая криолитозона охватывает большую часть Арктического бассейна, не считая районов, испытывающих влияние теплого Северо-Атлантического течения. Ниже представлена карта, на которой определены границы промерзания и протаивания грунтов на территорию России

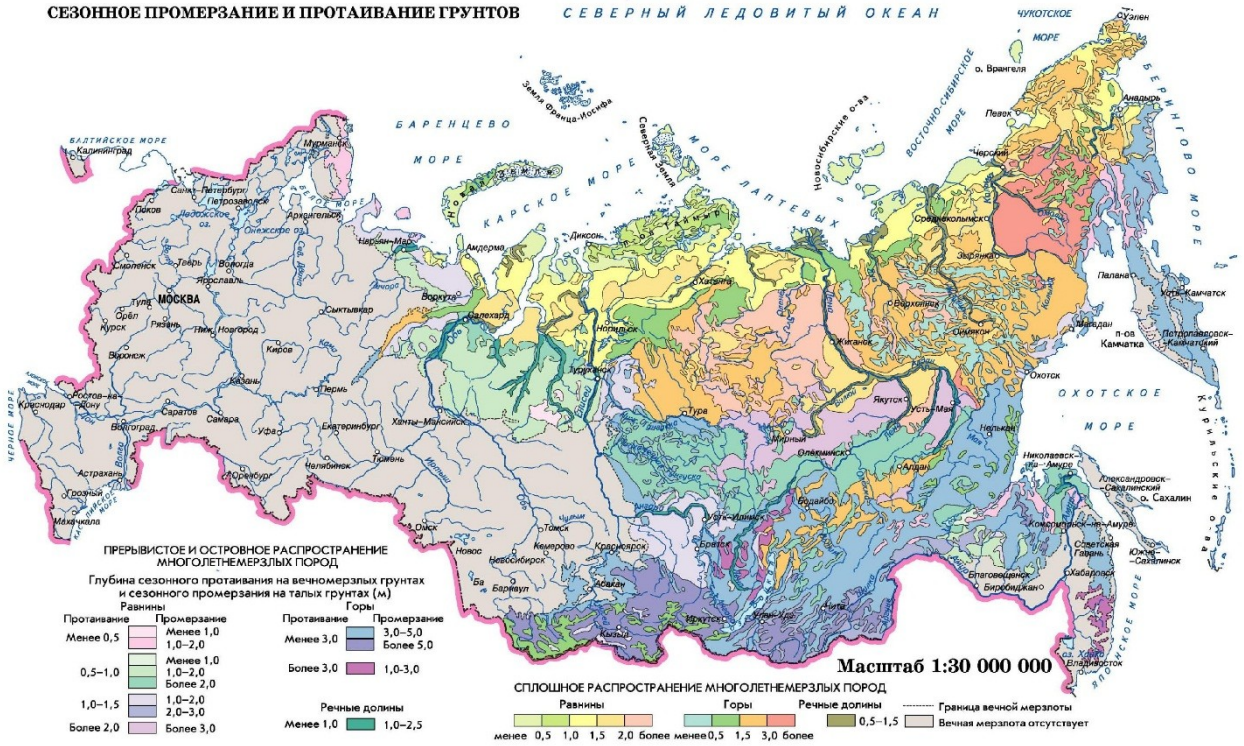


Рисунок 2 – Сезонное промерзание и протаивание грунтов

Сплошная мерзлота распространена в северной части Большеземельской тундры, на Полярном Урале, в тундре Западной Сибири, в северной части Среднесибирского плоскогорья, на полуострове Таймыр, архипелаге Северная Земля, на Новосибирских островах, Яно-Индигирской и Колымской низменностях, в дельте реки Лена, на Центральноякутской

равнине, Приленском плато и в областях Верхоянского и Черского хребтов, Колымского нагорья, Анадырского плоскогорья, а также на Юкагирском плоскогорье и Анадырской низменности. Мощность толщ многолетнемерзлых пород меняется от 300 м до 500 м и выше, в горах — до 1500 м; температура — от –2°С до –10°С и ниже. Талые породы в зоне сплошной мерзлоты залегают лишь в руслах больших рек и под крупными озерами. К югу от этой зоны талые породы чередуются с мерзлыми. Мерзлота с островами талых грунтов (прерывистая, спорадическая) преобладает в Большеземельской и Малоземельской тундрах, на Среднесибирском плоскогорье между реками Нижняя и Подкаменная Тунгуска, в южной части Приленского плато, в Забайкалье. Мощность мерзлых толщ иногда достигает 250–300 м, но чаще колеблются от 10–20 до 100–150 м, температура — от 0°С до –2°С. [4]

На рисунке 3 показаны льдистость и распространение многолетнемерзлых пород на территории России.

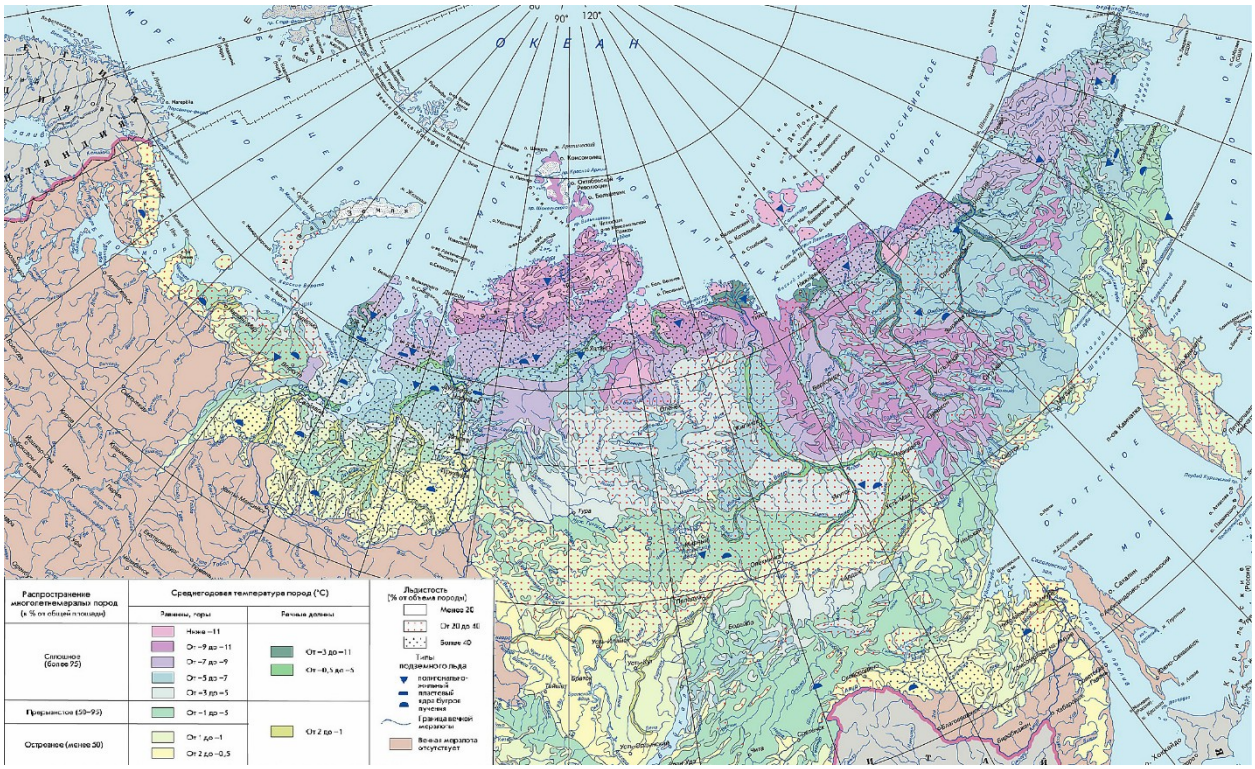


Рисунок 3 – Распространение многолетнемерзлых пород

Основными факторами формирования таликов в области прерывистой мерзлоты предназначаются поверхностные и подземные воды, радиационный

режим поверхности Земли, снежный слой. Островная мерзлота развита на Кольском полуострове, в Канино-Печорском районе, в таежной зоне Западной Сибири, в южной части Среднесибирского плоскогорья, на Дальнем Востоке, вдоль побережья Охотского моря и на полуострове Камчатка. Мощность толщ колеблется от нескольких метров до нескольких десятков метров, температура близка к 0°С. Островная мерзлота свойственна также для горных стран — Саян, Урала и Кавказа, где она встречается главным образом по периферии зон современного оледенения. В районе островной мерзлоты массивы современных мерзлых пород сохраняются в льдистых торфяных и суглинистых породах, в лесных массивах с большим эффектом затенения, на склонах северных и восточных экспозиций.

Бугры пучения приусловлены к следующим природным зонам в России: зона тундры и лесотундры (70%), области высотной поясности и тайга (30%).

В данной работе опишем физико-географические условия зон тундры и лесотунды (в областях высотной поясности также прослеживаются эти зоны).

Зона тундр. Она расположена вдоль побережья морей Северного Ледовитого океана, что связано в основном с климатическими процессами.

Тундра — это зона холода, мощных ветров, высокой облачности, полярной ночи и полярного дня. В тундре короткое и холодное лето, долгая и суровая зима, выпадает мало осадков (около 200-500 мм в год), причем большая их доля приходится на июль и август. Мощные холода в тундре продолжаются от полугода вплоть до восьми-девяти месяцев, температура в азиатской тундре иногда может достигать — 52°С. Сильные ветры сдувают снег, и не защищенная им почва сильно замерзает. Это — одна из причин формирования слоя многолетнемерзлых грунтов. Таяние распространяется летом на глубину до 0,5-1 м. Многолетнемерзлые грунты охлаждают почву, задерживают влагу, способствуют заболачиванию местности (заболочено около 70% ее территории). В прибрежье тундры сформирован молодой равнинный ландшафт, вызванный морскими трансгрессиями и деятельностью рек. Южнее эта равнинность нарушается холмами и грядами ледникового

происхождения и останцовыми высотами коренных пород (Канин Камень, горы Таймыра и Чукотского полуострова). В образовании морфоскульптур тундр ведущее значение имеет многолетняя мерзлота. Тут и формируются криогенные формы рельефа. [5]

Тундра — безлесная область с низким и не всегда сплошным растительным покровом. Его основу формируют мхи и лишайники, на фоне которых образуются низкорослые цветковые растения — травы, кустарнички и кустарники. У тундровых растений корневая система развивается в пределах небольшого деятельного слоя. Растения невысоко поднимаются над землей, часто имеют подушкообразные и стелющиеся формы. Кустарники — карликовая березка и ивы — нередко возвышаются над снегом, поэтому страдают от механических повреждений от переносимого ветром снега.

Лесотундра. Южнее тундры на морских, ледниковых и аллювиально-озерных равнинах простирается узкой полосой лесотундра — переходная зона от тундры к лесу. Для лесотундры свойственно присутствие редкостойных лесов на междуречьях. В климатическом отношении она отличается от тундры более теплым летом и снижением скорости ветра. Западная часть лесотундры до низовьев Енисея характеризуется длительностью холодного периода от 180 до 240 дней. Среднеянварская температура от -10 до -30°С, т.е. климат здесь очень холодный, избыточно влажный, с достаточно снежной зимой. Климат восточной части лесотундры отличается ростом суровости зимы и сокращением высоты снежного покрова. Зима умеренно снежная, продолжительность холодного периода до 260-290 дней, среднеянварская температура -30...-35°С. Биоклиматический потенциал, так же как и в тундре, весьма низок. Главной особенностью данной области является наличие островных редких лесов, состоящих из сибирской ели, лиственниц даурской и сибирской и березы. Разреженность леса объясняется суровыми климатическими условиями. Для лесотундры свойственно большое количество сфагновых торфяников, формирование тундрово-мерзлотных болотных и глеево-подзолистых почв, а по поймам рек распространены

дерново-луговые. Склоны речных долин и террасы в летнее время покрываются пестро-цветными лугами, которые состоят из лютика, огоньков, валерианы, и ягодников. Луга служат как летом, так и осенью прекрасными пастбищами для оленей и местообитанием для зверей и птиц. Песцы распространены в тундре и лесотундре. Много водоплавающих птиц на озерах, реках, болотах. Весной здесь гнездятся гуси, утки, лебеди, гагары. [5]

1.3 Геологическое строение исследуемых районов

Во второй части работы, как уже говорилось выше, были рассмотрены основные области распространения бугров пучения. Это Юго-Восточный Алтай (области высотной поясности), Европейская часть России (в том числе Кольский полуостров) – зоны тундры и лесотундры и Республика Саха (Якутия) – зоны тундры, лесотундры и тайги. Рассмотрим геологическое строение этих трех выделенных областей.

Европейская часть России, Кольский полуостров. В западной части Кольского полуострова, имеющей расчлененный рельеф, территория достигает наибольших высот. Там расположены отдельные горные массивы с плоскими вершинами, разделенные депрессиями: Хибины и тундры. Их высоты 900—1000 м. Лишь вершины Хибин (г. — 1191м), тундр превышают м. Для восточной половины полуострова характерен спокойный рельеф с преобладающими 150—250 м. Среди равнины возвышается Кейвы м), состоящая из отдельных , вытянутых с северо-запада на вдоль центральной полуострова.

полуостров занимает часть Балтийского щита, в геологическом которого участие мощные архея и протерозоя. Геологическая карта Кольского полуострова представлена на рисунке 4. представлен сильно и интенсивно гнейсами и гранитами, прорванными пегматитовыми . Протерозойские отложения разнообразны по — кварциты, кристаллические , песчаники, мраморы, гнейсы, переслаивающиеся с породами. [6]

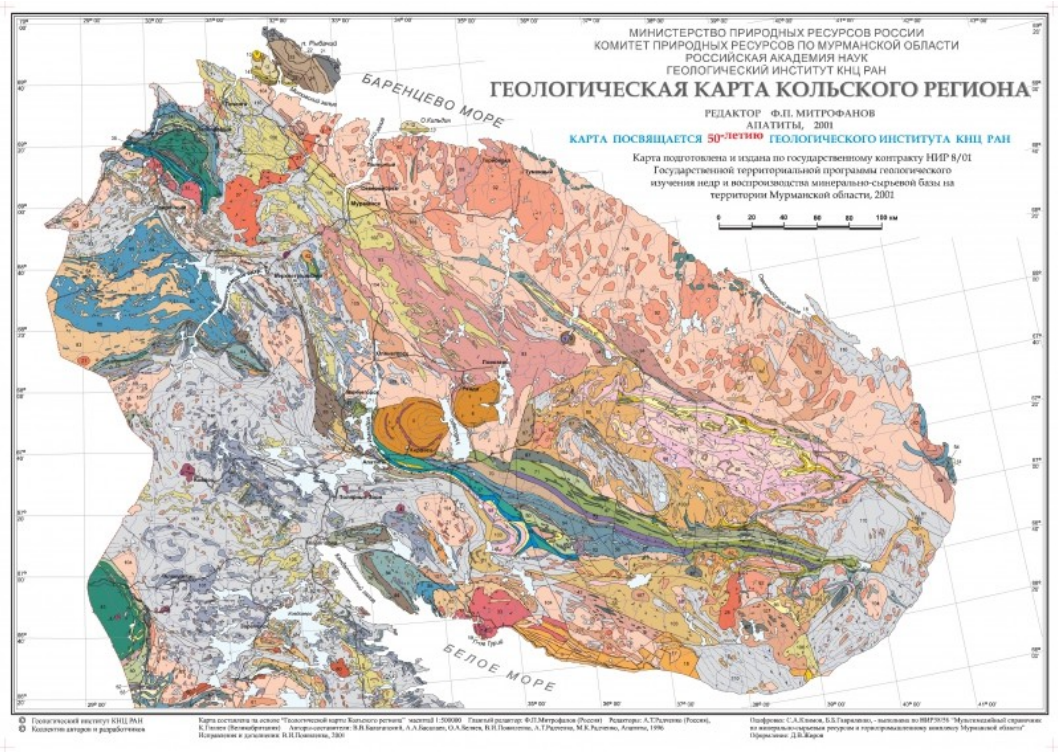


Рисунок 4 – Геологическое строение Кольского полуострова

Кольского полуострова, геолого-географических представлений о земной поверхн (рельефе) полуострова, ее происхождении, облике, эволюции и тях географического распространения. особенности обусловлены кооперативным многих структурных и признаков. До кайнозоя вклад в рельефа принадлежал процессам, в кайнозое – эрозии, а в ледниковую – оледенениям, в условиях – климатом. геоморфологический облик полуострова характеризуется 2 типами : 1) денудационно-тектоническим, отражающим Г. кристаллического основания (), и 2) аккумулятивным, представляющим мелкие рельефа – «скульптурным на крупных формах» ().

Юго-Восточный Алтай. хребтов Алтая и проходов ними прямо с новейшей тектоникой. Она размещение коридоров на этой , которые проходят по горных рек, связывая собой межгорные впадины. между сопряженными долинами зависит от перевальных , которые располагаются в случаев в местах в поднятие периферийных впадин.

считают, что горы в каледонскую эпоху, но вторичный подъём в и кайнозойскую эры.

современной концепции литосферных плит, формирования Алтайской системы быть связано со океанических островов и (Курайское, Бийско-) с тектоническими палеоостровной дуги (, Горно-Шорский, , Чулышманский). В кембрии, Горного представляли собой островодужную систему. В эпоху (поздний — ордовик), , вмещающая Алтайские была причленена к , но этот деформационный практически не в геологии региона, перерыва в осадконакоплении и прекращении вулканизма. В и раннем регион был затоплен бассейном. По-видимому, место раскрытие бассейна к от Горного Алтая. В Алтае процесс заложением зон субдукции, вулканизмом, современной Андийской континентальной окраине. В эру Алтайские горы разрушались под солнца, ветра и природных сил, тем не менее в известны проявления внутриплитного , и связанные с ним месторождения. За лет бывшая горная превратилась в равнину с участками. В эру на Алтае вновь тектонические процессы горообразования, сформировавшие рельеф.

На выделяются три основных рельефа: поверхность древнего пенеплена, ледниковый рельеф и среднегорный . [7]

Республика Саха (). Якутия характеризуется природных и ресурсов, что обусловлено положением её территории. часть занимают и плоскогорья, на которых приходится ⅔ её поверхности, и лишь ⅓ на низменности. Самая точка — Победа (3147 м, по данным 3003 м, на хребте Черского) или (2959 м, по данным 3011 м, на хребте Сунтар-). В Якутии также Верхоянский . Геологическое строение Республики Саха (Якутия) показано на рисунке 5.

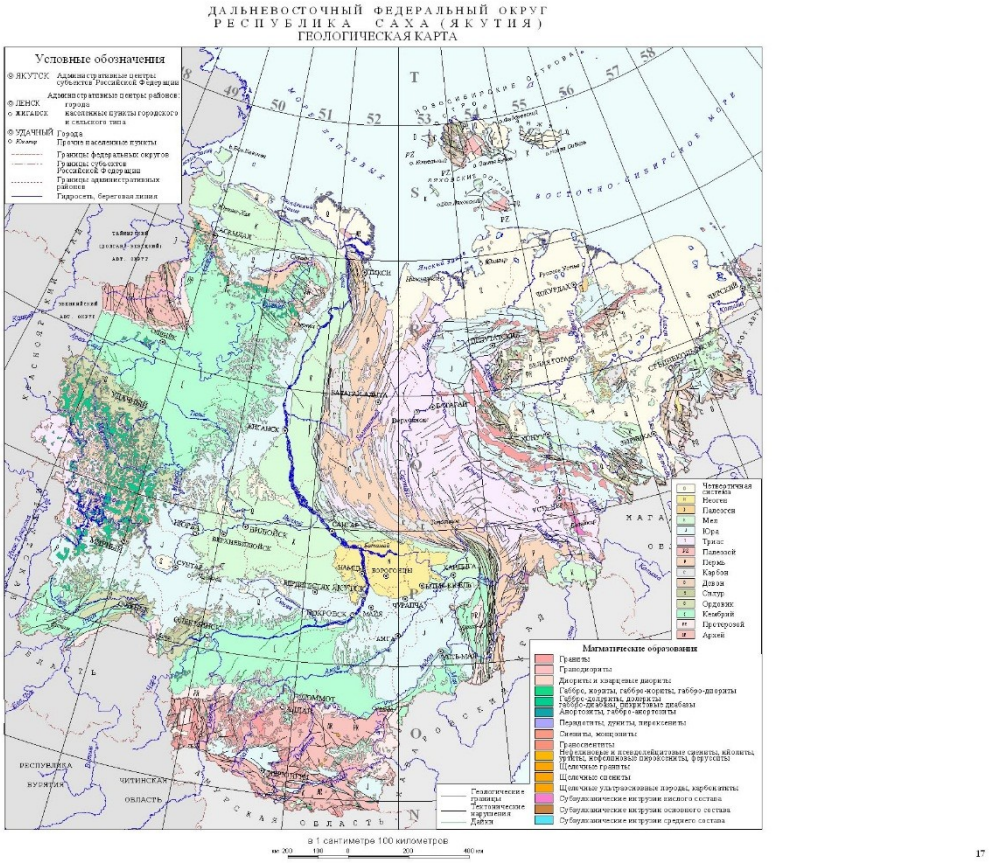


Рисунок 5 – Геологическая карта Республики Якутия

Западную часть занимает одно из плоскогорий — Среднесибирское.

Якутии преимущественно к двум тектоническим структурам — платформе и Верхояно-Чукотской мезозойской . Строение рельефа, и условия залегания г пород на ней неоднородны.

На платформе плоскогорья, пластовые и равнины, и; только на ее окраине, в пределах щита, нагорье со сравнительно расчлененным рельефом. складчатая область рельефом, преимущественно на мезозойском основании. Наряду с районами здесь низменности, к жестким срединным или синклинальным структурам. [8]

Ниже показаны бугры пучения на территории Республики Саха в летнее время (рис.6).



Рисунок 6 – Бугры пучения летом

2 часть

2.1 Виды пучения

К рельефу отнесены бугры пучения - формы криогенного , многообразие описал Б.М. Кривоносовым, А.Н. , Н.А. Цехановской.

Их можно в четыре группы: пучения - , бугры пучения с ядрами, бугры - гидролакколиты, бугры - туфуры.

отличаются внешними , особенностями возникновения и : наиболее крупные среди ровного рельефа формы высотой от до 3-5 м, редко 8-10 м; тянущиеся встречаются по долине р. , это бугры - останцы термокарстовых озер от 0,5 до 5,5 м. [9]

Разделяют два пучения дисперсных : 1) без подтока влаги ; 2) с подтоком влаги , или, иначе, в закрытой или открытой .

1. При промерзании сезонноталого , пучение обычно в условиях системы, за возможным подножий склонов. того, именно увеличение промерзающих грунтов к выражению этого в рельефе в виде пучения размеров.

2. Заметное наблюдается при медленном в открытой системе мелкодисперсных, пылеватых грунтов и водоносного горизонта (механизм пучения). [9]

представлены (рис.7) пучения на космических за апрель 2017 на территорию Республики (Якутия)

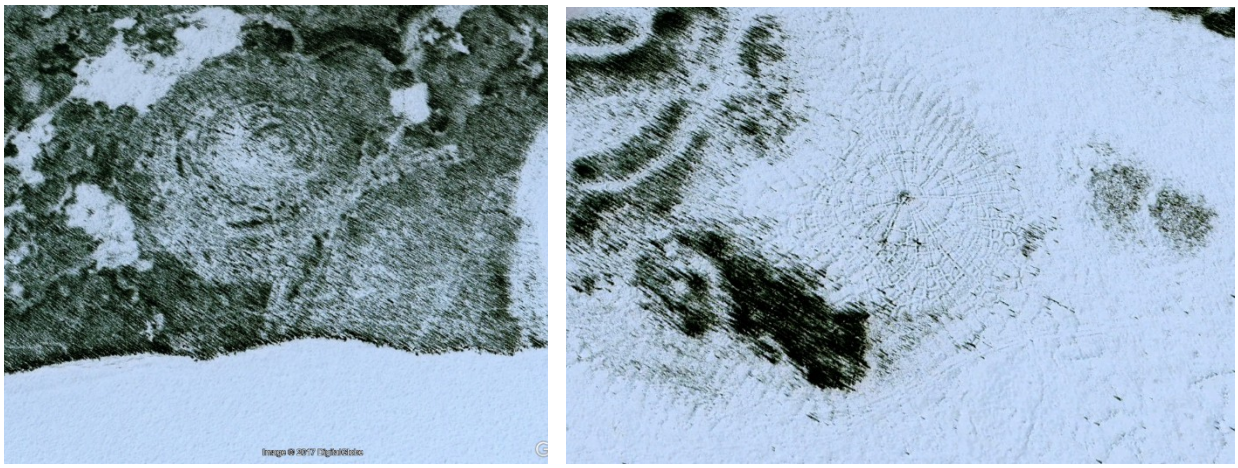


Рисунок 7 – Бугры пучения на космическом снимке

2.1.1 М формирования, черты и климатические условия

В соответствии с доминирующим образования три генетических группы пучения:

- сегрегационные, иногда называют ;
- инъекционные, или , и
- инъекционно-сегрегационны.

Высота пучения составляет от метра до 80 метров, а основания — от метров до километров. пучения каждой группы неодинаковы по

существования, , форме в плане и . Современные бугры развиты в субполярных и котловинных с преимущественно резкоконтинентальным и климатом. Сохранившиеся в тысячелетий голоценовые пучения, как показатель былых природных условиях, так же в тех районах, которые четвертичное после дегляциации, или с краями ледников последнего похолодания (то образовывались в зоне). Последнее не всегда обязательно, голоценовые полуразрушенные пучения свидетельствовать и о наличии в их современного распространения пород, крайне количестве осадков, или просто мощного сезонно слоя и малой увлажнённости , то есть — о резко условиях времени их . [9]

Механизм образования пучения (рис.8) от того, открытая это или закрытая. В закрытой талые породы со всех многолетнемерзлыми породами. В вечной мерзлоты , расположенные непосредственно под , не замерзают и в талом состоянии (глубина водоема мощность льда в период). Чем водоем, тем больше талых грунтов под ним — . Под наиболее крупными многолетнемерзлые могут и вовсе . При обмелении или иссушении подозерный талик промерзать со сторон. Под воздействием гидростатического давления грунт в наиболее месте , образуя бугор с ядром из льда или льда с .

Нередко встречается и тип бугров — гидролакколиты. Это открытая . Гидролакколиты образуются в с тектоническими разломами, где по в породах поступать артезианские из горизонтов, находящихся под грунтами, — это так называемые разгрузки вод. Поднимаясь вверх, замерзает, за счет притока снизу рост . Таким образом, его сопоставимо с магматическими , которые образуются в застывания на поверхности, поднимающейся из недр по трещинам.

В закрытой талые воды со всех сторон породами. В открытой постоянный грунтовых вод. [9]

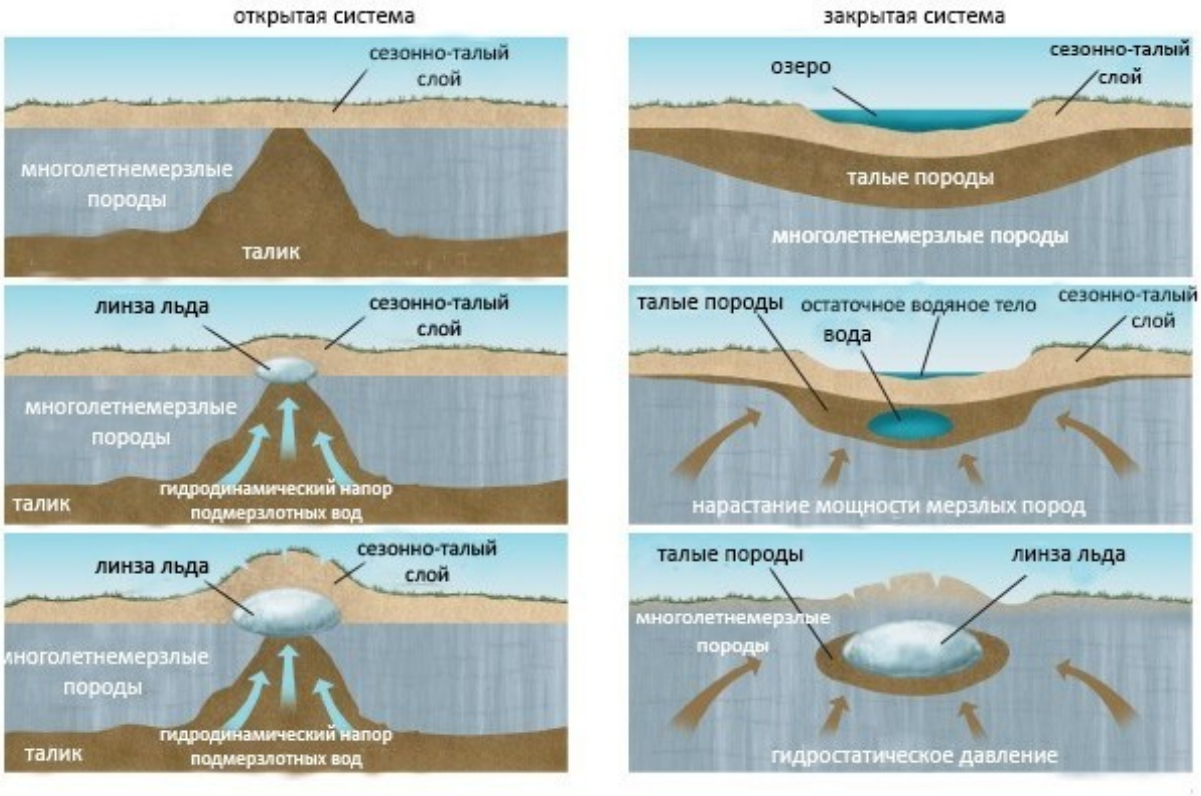


Рисунок 8 – Схема образования бугров пучения

Характерная внешнего облика бугров пучения — поверхности (рис.9). В случаях глубокие рассекают их более чем до , из-за чего бугры с расстояния кажутся . Через трещины под может происходить воды или потока. Образуется , как у вулканов. В отдельных вслед за образованием происходит и разрушение бугра, в чего на его месте снова образоваться или болото. это болото или озеро опять начнет (из-за частичного), то снова бугор пучения. бугров зависят от характера и образования отложений, влажности и других породы. пучения не всегда больших размеров.

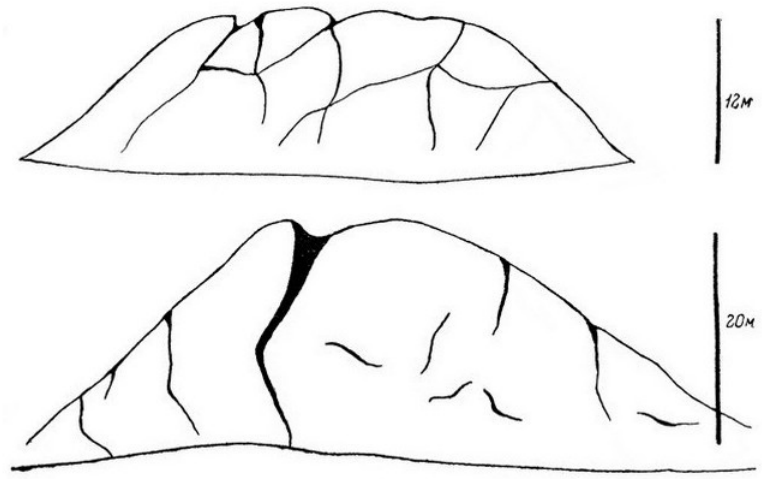


Рисунок 9 – Схема трещин на разрушающихся гидролакколитах северного Ямала

На ниже представлены бугры , образовавшиеся вследствие аласа в Центральной (рис.10). Аласами называют , образовавшиеся в вытаивания и просадки мерзлых отложений и льдов. Часто в такого существует озеро. В время аласами любую котловину, образовалась в вытаивания подземных .



Рисунок 10 – Алас в Центральной

Если это озеро (так как алас на высокой равнине, а само выше, чем местная сеть), то начнется талых , которое будет ростом бугра . [9]

Бывают и однолетние бугры , а также другие , вызванные пучением.

2.1.2 Влияние хозяйственной деятельности на исследуемые формы рельефа

Деятельность человека в развития многолетнемерзлых приводит к их криогенного состояния. При территорий — строительстве , прокладке коммуникаций, и автодорог, месторождений полезных , прокладке трубопроводов и т. д. — всего нарушается режим толщ, что чаще ведет к деградации и опасному развитию форм . В больших городах климатические условия. Так, в и Норильске среднегодовая на 1-3 °С выше территорий. Под городскими и коллекторами происходит оттаивание и замерзание , ведущее к бугров пучения, трещин, вызывающих зданий, разрыв и т. д. Прорыв или теплых техногенных вод подтопление, ведущее к термокарста и проседанию , термоэрозии и оврагов. На трассах магистральных трубопроводов оттаивания мерзлых образуются , термокарстовые воронки и пучения, вызывающие труб, их всплывание, . Под насыпями дорог происходит среднегодовых температур и образование таликов. Это к просадкам , их солифлюкционному оплыванию. насыпей нарушаются поверхностного и приповерхностного вод, вызывающие , образование эрозионных , иногда наледей, пучения и др. [10]

При открытой полезных в бортах карьеров вытаивание льда, устойчивости стенок и оползней и . При эксплуатации нефтегазовых уничтожается почвенно-растительный и снежный покров, что к более промерзанию грунтов, а скважин, наоборот, оттаивание мерзлых и их просадку, е развитие термокарстовых , болот, площадь которых увеличивается в с оседанием при откачке из недр и газа. Часто при воздействиях на торфяно-глеевые — давлении тракторами, вездеходами и техникой, а также оленей — они становятся , подвергаются течению. Уничтожение , с одной стороны, более глубокому пород , а с другой — оттаиванию и образованию термокарстовых и просадочных форм. [10]

образом, воздействие на криолитозону развитие практически форм рельефа, развитием мерзлоты.

2.1.3. Влияние пучения на хозяйственную и деятельность

Пучение — явление и в разных породах по-разному, но везде в распространения мерзлых оно несет и проблемы для хозяйственного севера человеком. этих процессов приводит и сооружения в аварийное и даже вызывает их разрушение. А железная Чум — Салехард — протяженностью 900 км, которая строилась в середине века (в ее строительство вложено 42 руб.), из-за пучения так и осталась . Сейчас она известна как дорога (рис.11).



Рисунок 11 – состояние дороги Чум — — Игарка при пересечении ландшафтов

Процессы пуч неравномерны, чем лено образование бугров пучения, опасных с точки влияния на тру. Их формирование происходит в хо время года в с неравномерным промерзанием ненных , в результате чего гидростатический напор. пучения начин уже при промерзании них горизонтов

увлажненных и продолжается на про всего периода ния. Процессы пучения опасны для прежде всего их проявления вдоль . [11]

На Европейском России, на севере За Сибири, Якутии и др. в три-пять лет эксплуатации« » газопроводов на мно мерзлоте формируются оттаивания, достигающие в 10 м. Их образование, как правило, просадкой по грунта над трубопроводом, а и вдоль целого т коридора. Следующие за процессы , образования сезонных и них бугров пучения деформацию трубо из-за кристаллизационного , достигающего 220 МПа при каждом цикле и следующего за ним .

Установки охлаждения газа на , Ямбургском промыслах построены после того, как в многих лет на , проложенных на территории странения постоянно пород, подавался газ. Переход на холодного газа по магистралям неизбежно неравномерным пучением и за ним защемлением . Вертикальные перемещения происходят вследствие ния и всплывания и проявляются при наличии .

Натурные крупномасштабные и наблюдения за действующими - и газопроводами в зоне принципиальную важность у процессов пучения при экс трубопроводов, т.к. выпучивание и ытие трубопроводов при наличии утяжелителей. За 10 лет на одном из участков сплошной пригру в лесотундре Западной началось пучение. ийся участок имел 40 м. К 2007 г. его длина 250 м, и число пригрузов с 20 до 170. Газопровод изменил положение и на высоту 1,7 м. На вершине из бугров пучения трескаться пригрузы. показала, что вы ледяное ядро в диаметре 6 м. Это типичный участок, , например, на газопроводе — Ныда 600.

В трубопроводной Надым — Пунга, ющей уже около 40 лет, сильные ия произошли в т.ч. и в резуль новообразования и площадей пучения более 1 м.

сооружение нефтепроводов возное — Варандей и — Индига вслед широкого бугристых торфяников и пучения.

Даже ка протяженных линий требует расположения пучения. Согласно п. 5.10 ВСН инструкции по проектиро лине сооружений связи: « кабельных линий при их на участках с буграми … должны ся в соответствии с рекомендациями указаний». [11]

2.2 Распространение бугров пучения на территории России

Как уже отмечали ранее, 65% территории России занимает вечная мерзлота. Бугры пучения, в основном, образуются вдоль южной границы этой зоны. Для описания были взяты три основные крупные области распространения бугров пучения.

2.2.1 Юго- восточный Алтай – формирование и распространение бугров пучения в горных районах

В Горном Алтае криогенным (мерзлотным) ландшафтом акцентируется Юго-Восточный Алтай, область, которая в большей мере относится к разбираемому нами Кош-Агачскому административному региону.

Предложенный в свойстве модели участок выгодно отличается от других своим высшим положением, наличием суровых климатических условий, широким распространением криогенных форм рельефа и что важно отсутствием лесной растительности, скрывающей наблюдаемые природные явления и затрудняющей их изучение. [12]

Полевые маршрутные и полустационарные обследования, проводимые отдельными учеными и коллективами ВУЗов криогенных явлений на территории Юго-Восточного Алтая позволили выявить последующие сведения.

1. Многолетняя мерзлота во впадинах существует долгий период времени и относится к хорошо увлажненным участкам днищ на абсолютных высотах от 1 400 до 2 800 м. На плато и междуречных водоразделах мерзлоты

нет. Кровля многолетней мерзлоты раскрывается на различной глубине: 1,3-1,8 и 2-3 м и больше. Положение ее зависит от состава грунтов, их увлажненности, рельефа и растительности. Мощность мерзлоты различна: от 4-9 до 25-90 м (по устным сведениям 200-800 м на плато Укок и по долине р. Бургазы).

2. В связи с условиями промерзания и возникновения мерзлые отложения имеют различную криогенную текстуру. Выявлены: слоистая криогенная текстура озерных илистых отложений в буграх пучения, корковые криотекстуры в щебнисто-галично-валунных отложениях, базальная в илах, суглинках, глинах; при промерзании в них появляются шлиры льда.

3. Криогенные формы рельефа относятся к областям распространения, ровно как островной, так и сплошной многолетней мерзлоты. Под воздействием криогенных процессов изменяется вид мезо- и микрорельефа: появляются формы при переходе из воды в лед и наоборот, при периодической смене фазовых переходов из воды в лед, изо льда в воду.

4. Пучинные, полигональные, наледные, термокарстовые криогенные формы рельефа ярче всего выражены в природе. Их многообразие наиболее изучено во впадинах Юго-Восточного Алтая (Результаты исследований 1969, 1970, 1978, 1981, 1982, 1984 и других годов). Все межгорные впадины являются замкнутыми депрессиями, в них застаивается переохлажденный зимний воздух, который определяет континентальность и суровость климата; по Б.М. Кривоносову (1975) для Чуйской котловины он установлен словно антициклональный сухой и холодный, субаридный монгольского типа, экстраконтинентального вида.

Это же утверждал и М.В. Тронов. Он доказывал, что все впадины Юго-Восточного Алтая оказываются в зимний период под влиянием центральной зоны азиатского антициклона; монгольские черты климата проявляются и летом, когда возникает сухость при годовом количестве осадков 110-130 мм с владычеством безоблачной ясной погоды и зимой, и летом. К криогенному рельефу отнесены различные бугры пучения - выпуклые формы криогенного

рельефа, многообразие которых описал Б.М. Кривоносовым, А.Н. Рудым, Н.А. Цехановской.

Их можно объединить в четыре группы: бугры пучения - тебелеры, бугры пучения с мерзлотными ядрами, бугры пучения - гидролакколиты, бугры пучения - туфуры.

Бугры отличаются внешне, особенностями возникновения и распространения: крупнейшие выделяются среди относительно ровного рельефа куполообразной формы высотой от 1-1,2 до 3-5 м, редко 8-10 м; цепочкой тянущиеся тебелеры встречаются по долине р. Кокури, это бугры - останцы среди термокарстовых озер высотой от 0,5 до 5,5 м. Куполообразным строением ледового ядра отличаются останцы бугристого рельефа на Ештыкколе в Курайской впадине, возраст которых определяется в 2 000 лет.

Однотипные бугры пучения - тебелеры со следами деградации и разрушения наблюдались в бассейне р. Башкаус, по долине р. Анаяк на высоте 1 800-1 850 м, по правому берегу р. Ярлу на высоте 1 900 м, по ручью Карамеш и р. Чультурлу, по берегам озера Чейбокколь, в поймах рек Онулу и Саратан. Бугры гидролакколиты - типичное явление для наледных болот Курайской впадины, находятся по ручью Карамеш.

Показателями потепления климата являются термокарстовые формы ландшафта, образование которых связано с деградацией мерзлоты, в особенности во впадинах Юго-Восточного Алтая. [12]

Вытаивание мерзлой толщи создает системы соединенных между собой термокарстовых котловин, которые объединяются в термокарстовые бассейны, каждый из которых характеризуется системой термокарстовых озер, западин, просадок, расположенных среди деградирующих бугров пучения:

Ештыккольский, Курайский, Кошагачский, Тебелерский, Чуйский, Коасуринский, Карамешский, Чультурлинский, Паспортинский, Калдингольский, Анаякский, Саратанский, Ярлуский, Чейбоккольский.

Зарождение указанных термокарстовых форм, очевидно, соответствует второму и третьему этапу лесовозобновления, которые начались соответственно около 500 и 110 лет назад с началом общей деградации ледников с общего потепления климата. Об этом свидетельствует обнаруженная реликтовая мерзлота на правом берегу р. Саратан в шурфе на глубине 2 м 40 см - трещиноватая глина с пятнами ржавчины, шлирами и зернами льда по трещинам. Вблизи шурфа мерзлотные породы не прослеживались.

Таким образом, криогенные преобразования рельефа межгорных впадин, начавшиеся 5 000-4 000 лет назад, в суровых климатических условиях, продолжаются в условиях потепления климата и создают яркую картину криогенного рельефа, в условиях формирования и деградации мерзлоты.

2.2.2 Бугры на европейском севере России (на примере Кольского полуострова)

Крупные па на Кольском полуострове по Н.Я. Каца [13] в тундре, лесотундре и с части . Они широко распространены на и не встречены лишь в части полуострова. По О. Кильмана, в этом регионе в и 1889 гг., в его восточной крупные торфяные бугры встречаются Качковкой и Поноем. Их достигает здесь 3–4 м, а — 30 м. М.А. Лаврова [14] пальза ой от 1 до 4 м в районе Волчьих и Мончетундры.

В это же время М.И. [15] наблюдал бугры на берегах Нюдозеро и Щучье в 3–4 км к югу от Пудозеро. Высота высокого из них на берегу достигала 2 м, торфа — около м. Его минеральное ядро с ами льда имело клую , повторяющую форму бугра. При помощи железного щупа

М.И. удалось , что мерзлое тело пальза не достигает дна , а плавает в жидкой массе, т.к. щуп проходил от края под его мерзлую линзу. М.И. предположил, что если бы ь плотную массу вокруг , то он бы поплыл по болоту. По данного автора, это был « айсберг, на одном месте».

Мерзлые бугры были Г.С. Константиновой в не площадью 4 км² в 30 км к юго-востоку от поселка . Г.А. Елина с соавторами исследовала крупную систему более 3 тыс. га, простирающуюся северо-западного режья Ловозера, с буграми высотой 0,7–1,2 м (2 м), занимающими до изученной территории.

Работа по исследованию пальза, В. Барканом южной границы их ра на Кольском острове (вплоть до с.ш. на Нюдозере и 67°57′ с.ш. на М, Лумболкаозере, озере и др.), показала, что часть бугров не оттаяла в последних 80 лет, несмотря на среднегодовую темпе воздуха в годы, варьировавшую от –3,0 до +2,8°.

Консервации и современному пальза в районе способствуют рельефа. Поверхность массива с буграми открыта сильному , прони в долину озера горными масси Нюд и Сопчел. Зимой ветер, - щий снежный покров с , является важным , способствующим развитию в данном е. Подобные климатические вия характерны и для других , например находящихся в г. Мончегорска и на тер севернее , которые располо вдоль линии «север—северо-восток — », совпадающей с направлением ветра.

В. отмечает, что более пальза частично раз термоэрозионными сами, обуслов увеличением глубины се протаивания в последних лет. Однако в целом массивы с буграми сохранились в инерционности лого ядра, сохраняется в течение и сотен лет даже в условиях целост поверхности пальза , полостями и пр. При этом йшую роль тепло свойства торфа. [16]

2.2.3 Бугры пучения на Средней Сибири (Республика Саха)

распрос бугристых торфяников в Сибири ранее обозначены Л.В. Шуми [17] и Н.Я. К [13]. Детальные о южном распростра миграционных бугров ния (пальза) получены при исследованиях падения Тунгусского .

был исследован торфяник в 6 км к северу от ГЭС. Ширина этого массива — около 1 км, — 3 км, он вытянут с на юг. По западному краю с севера на юг протекает ручей. Здесь несколько пучения куполообразной

высотой от 0,5 до 2,0 м. Диаметр здесь редко 15 м, а их форма более или менее . Как правило, покрыты кустарниковым по, состоящим из березки. На некоторых буграх произрастают с максимальным ом ствола 13 см. сезонноталого , измеренная в октябре, — 1 м.

В верхней части бу залегает мощный слой торфа. На некоторых зрелых имеются трещины, не бугры на стадии разрушения, расчленены трещинами, блоковой , термоэрозией (имеют на вершинах) и бразией и т.д. Несколько шенных бугров с ко водоемами или водоемами, и торфяными , свидетельствуют о ном циклическом развитии и окружающих болот. [17]

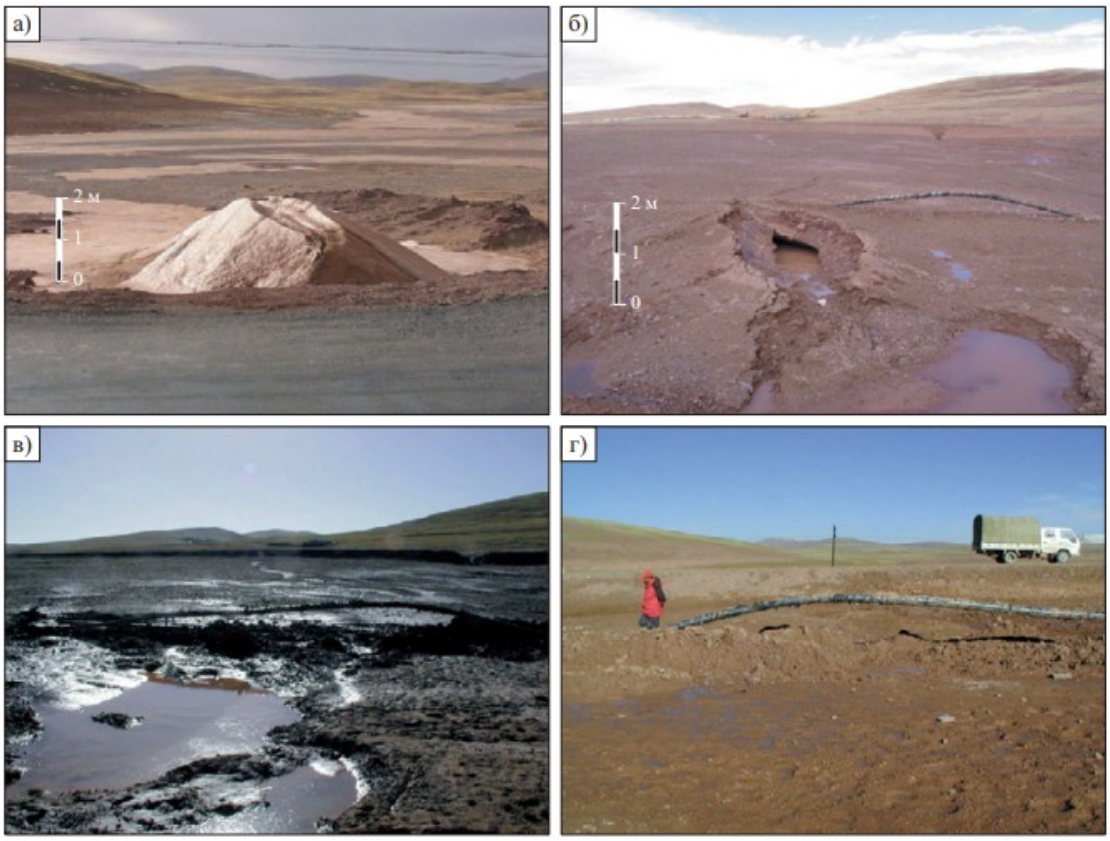


Рисунок 12 – Пульсирующий и мигрирующий пучения и нефтепровод на 86-й трассы Голмуд — на Тибетском нагорье в : а — бугор в 2002 г.; б — частично бугор и нефтетрубопровод в мае г.; в — изогнутый нефтепровод в 2002 г. того, как бугор растаял; г — изогнутый в июле 2002 г.

многолетнемерзлых пучения на Лено- междуречье было Н.Г. Бобовым [18]. Наблюд производились в месяцы 1955–1957 гг. по строившейся дороги

(ныне Ленск) — . пучения были встречены автором близ части меж, в частности в пойме Аргаа-Юрэх недалеко от Быйыттаах. Пальза отли довольно пологими и достаточно крупными рами, достигая в 110 м по длинной и 40 м по ко оси, и имеют высоту почти 3 м. четко выражены благодаря отли от окружающей растительному покрову. На их имеются густые за таволги, кустарников (жимолости, шиповника и др.). На х буграх произрастают березы и лиственницы. При остальная поверх поймы ла злаково-осоковым травянистым . Наличие в растительном древесных и кустарниковых свидетельствует о мно существовании пальза. Их развитие на дает основание считать их менными .

Проведенные Н.Г. Бобовым [18] показали, что многолетние пучения, возникающие за образования се льда при миграции к основанию мерзлого как наиболее охлаж участка ме, на Лено-Вилюйском меж формируются в настоящее . Рост описываемых прои в результате неравномер по площади (дифференцированного) их отдельных частей и неодинакового промерзания.

Многолетнем породы с буграми отмечены близ б развивающегося Кодинска, расположенного в 12 км от с гидроузла Богучанской ГЭС на Ангаре. Они в долинах ручьев и , на заболоченных , на затененных и залесенных ск северной . Встреченные бугры пучения приурочены к ченным участкам, ручьев и , т.е. к участкам с большой суглинистых рыхлых . Л.В. Карпенко исследовала лый бугристый яник в акватории водохранилища Бог ГЭС в долине реки и обнаружила, что по переходных болот на надпойменной террасе бугры пучения с и даже ядром. Мощность здесь варьирует от 0,25 до 1,50 м. Под комплек- сами линзы , которые залегают на 0,3–0,4 м, по краям нередки бугры , сложенные чи льдом. На значительной территории вблизи Таежный Богучанского района условия, для морозного пучения. встречены на левобережных гих склонах долин рек и Кунчет, а на склонах севе и северо-восточной в устье реки Кунчет. Среднегодовая воздуха здесь минус 2,5°С. Продолжительность пе с отрицательными месячными тем составляет дней.

Самый ный месяц — январь, многолетняя тура января — 24,4°С, июля — 17,2°С.

Среднегодовая а осадков 400–450 мм, высота покрова зимой 100 мм. Основной тип растительности — сообщества.

спутниками сосновых являются кустарники и : кустарная ольха, стланик, ра березки, багульник, го, толокнянка, брусника и другие.

Бугристые описаны даже на Ольхон на озере (рис.13).



Рисунок 13 – Мерзлые торфяные пучения на Ольхон на Байкале

2.3 Динамика развития бугров пучения. Современная динамика

считать, что голоценового оптимума, вающий около третей первой голоцена, был повсеместной дегра многолетнемерзлых толщ и большинства бугров . Но исследованиями настоящей статьи установлено, чтоэто не совсем так.

Х. и его исследовали древесной в голоцене на бугристых Большеземельской тундры в реки Печора. Они , что в течение голоценового оптимума на территории (кот в настоящее время жена на леса и за ее

пределами) происхо расширение ареалов растительности (ели,), которая в отдельных редколесий здесь с начала [19].

В течение гол оптимума, здесь датирован в 8,0–3,5 тыс. лет, температура в тундре на 3°С выше ой. В то время вокруг Хариней, располож в 150 км севернее совре границы , произрастали еловые .

Около 3,5–2,5 тыс. лет температура пони, что привело к формированию здесь тнемерзлых пород и росту пальза, а к отмиранию растительности, наиболее остатки которой возрастом 2,5 тыс. лет.

ое датирование, авторами, позволило начало пучения и развития пальза в на участках их у станции Бугры и Уса, Абезь, Никита, и Хановей.

Проведенные еты показывают, что сы пучения на рассмотренных обусловлены как общеклиматическими ми, так и локальными . И даже в пре одного и того же скорости накоп торфа, моменты и длительности и субаквальной фаз могут не сов. Но при рассмотрении большого данных можно этапы и относительного затухания пучения.

Даже в елах южной криолитозоны в голоцена многолетнемерзлые не деградировали, а напротив, начать форми новые пучения. Основным ром такого на первый геокриологического парадокса было накопление вследствие высоких температур и сохра, а местами и ужесточение зим в период голоцена. Некоторые бугры циклически: поверхностная т переработка ранее бугров к абразии и проседанию части из них, а дренаж массива за формированием молодых (новооб).

Мониторинг пучения методом повт измерения высоты ности бугров пу, плоскобугристых ков и ложбин стока. [20]

2.3.1 Механизм формирования бугров пучения на части

Многолетнемерзлые пучения одной из самых форм мерзлот рельефа. Они широко во всем , чаще в районах с высокими средне температурами (около) прерыви по площади многолетней , но также нередки и в зонах с

поверхности многолетнемерзлых с низкими температурами (вплоть до –15–16°).

Исследования последних зафиксировали ственные и быстрые изменения в многолетнемерзлых толщ и в течение второй XX и в начале XXI ст в Северной Америке и Ев. Эти изменения проявились в площади повер, занятой и буграми пучения в и субарктических торфяниках, что связывать с глобальными ическими . Во многих случаях ка сокращения площадей, буграми пучения, и самих основана на данных . В некоторых случаях это и длительными выми аниями. В результате установлено, что большое количество с буграми на торфяниках протаяло и или полностью деградировало за 100–200 лет (особенно те, располо вблизи южной распространения многолетнемерзлых). Ниже, на рисунке 14, показаны миграционные бугры пучения на териитории Средней Сибири



Рисунок 14 – Миграционный бугор – пальза, 5 м, перекрытый торфом, в р. Турумакит (68°20′ с.ш.) на плато (слева) и на Путорана (70° с.ш.) в 15 км севернее оз. Лама (справа), север Средней

Вместе с тем есть и , свидетельствующие о росте и отдельных бугров, с локальными факторами, как миграции рек, изменения озер, или даже с такими эк причинами, как деятельность , влияющая на участка. Есть да о современном росте и увеличении площади их как на юге, так и на севере . В связи с этим ляется, что эти аспекты углубленного анализа. [20]

бугры на торфяных массивах () — это выпуклая мезоформа ефа, возникающая при восходящем много пород в результате протекания инъекционного, ционного и сегрегационного . Такие даже логичнее бы

назвать инъекционно-нно-миграционными, т.к. все эти три процесса (егация , т.е. выделение из водонасыщенного чистого льда при про, ее миграция из окружающих и лающих асыщенных грунтов и из замкнутых объемов при в результате промерзания), н, присутствуют в каждом случае пальза.

имеет многолетнемер ядро, которое в торфяном и достигает нижеле минерального грунта или его.

Основной характеристикой пучения яв наличие мерзлого ядра с тонкими линзами обычно 2–4 см (хотя в х случаях они могут значительно) [5].

Формы типа включают , площади пучения, сительно прямые и извилистые . Ширина обычно р 10–30 м, длина — м. Однако известны пальза-гряды длиной до 500 м, параллельно на поверхности болота.

высот пальза составляет от менее 1 до 7–8 м, максимум до 10 м. бугры обычно е близки по форме к , чем мелкие. Местами образуют комплексы, тя на неск сотен метров. таких бугров н бывает пересечена тыми трещинами, созданными куполовидным , морозобойным растрескиванием или .

Обязательной составляющей является , включающий многолетнемерзлое с ледяными шлирами, которых, как правило, не 2–3 см, хотя шлиры толщиной и даже 40 см (а авторам встречались и линзы более 1 м). Лед до 3 м изучен авторами в на пойме реки Т (правого притока Щучья на Ямале).

Строение р периферийной части простое: торф подстилается и песком. В же части оно сложное: здесь ется циклическая пачек торфа, и глины. т на себя внимание залегания мощных ледяных — они располагаются ески на поверхности бугра, что служит подтверждением их сегрегационного .

При промерзании аласов и в условия зим, когда активно происходит ное морозобойное растрескиванеие, на жении бугров п сказывается ность, образованная трещинами.

Бугры в случае также распола по сетке, образуя в шахматный или полигональный (рис. 15).

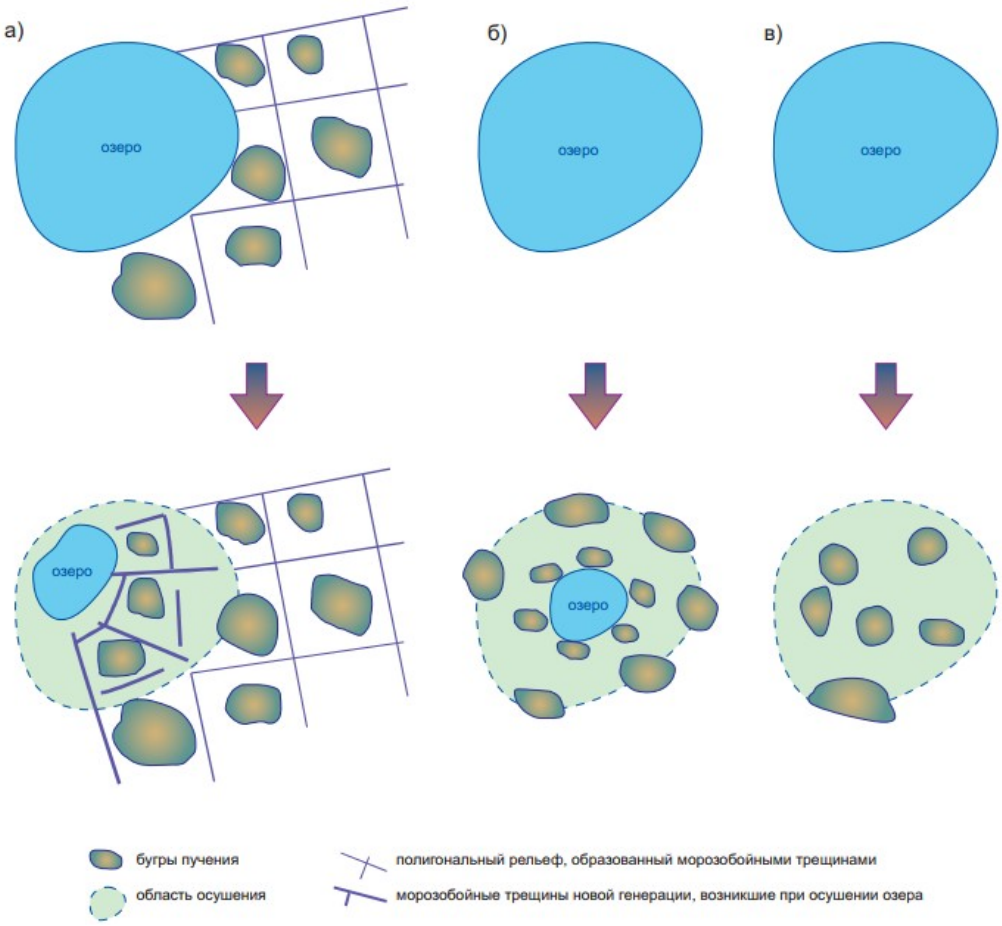


Рисунок 15 – Принципиальная формирования бугров пучения пальза в разных мерзлотно-фациальных условиях (по Ю.К. Васильчуку)

низких и медленного осушения одит к формированию смешанного типа (пи), к концентрическому , а также к формированию нально-жильных .

По мере образ бугров на их сохраняется прежняя и формируется новая сеть трещин. В их можно сегрегационные или сегрегационно- линзы льда, ледяной жилой.

ьные являются узкими в более полигональных осадках и шире и старше по к более ным территориям.

В условиях высоких температур осушение озера столь же промерзание и бугров пучения с их расположением на дне осушающегося или хасырея (см. рис. 15, б). В относительно высоких быстрое осушение(, в результате спуска) вызывает нное промерзание и фор пальза с их случайным расположением на дне котловины (см. рис. 15, в).

Очевидно, что часть пучения могла в своей эволюции или полностью протаи, судя по разрезов ряда из них, где переслаивание торфа и горизонтов отложений или неоднократное пер верхового и го торфа. Оба типа такого авторы наблюдали в езах бугров у села Азовы в реки Обь. Важно нуть, что после как торфа, так и суглинков они не и содержат количество влаги. Это протаявших бугров важным фактором для их ции даже при изменении гидр режима или некотором ии. На месте таких бугров, даже они протаяли полностью и понижение, наполн водой, происходит ное интенсивное именно вследствие по влажности. Это может и неоднократно. [20]

Заключение

Бугры пучения — одно из самых распространенных криогенных явлений в России благодаря климатическим и гидрологическим особенностям

территории. В России, в основном, бугры пучения распространены ближе к южной границе зоны вечной мерзлоты, в природных зонах тундры, лесотундры и тайги.

Бугры пучения можно в четыре группы: пучения - , бугры пучения с ядрами, бугры - гидролакколиты, бугры - туфуры. Все они отличаются внешними , особенностями возникновения и .

Миграционные бугры пучения существенно осложняют экслуатацию магистральных трубопроводов, дорог, крупных объектов строительства, аэро-

дромов.

Некоторые бугры развиваются циклически: поверхностная термокарстовая переработка ранее сформировавшихся бугров приводит к абразии и проседанию части из них, а последующий дренаж массива завершается формированием новых бугров

Проведение инструментальных измер показывает, что постоянное изменение поверхности бугров пучения, пл торфяников и заболоченных стока под пучения и тепловой .

Список использованной литературы:

1. Н.П. Костенко. Геоморфология. – Москва: МГУ, 1999
2. К.Ф. Войтковский. Основы гляциологии. – Москва: Наука, 1999
3. Бугры пучения [Электронный ресурс]: https://ru.wikipedia.org (дата обращения: 02.10.2017)
4. Вечная мерзлота [Электронный ресурс]: https://geographyofrussia.com (дата обращения: 02.10.2017)
5. Природные зоны России [Электронный ресурс]: http://www.ecosystema.ru (дата обращения: 03.10.2017)
6. Геологический портал [Электронный ресурс]: http://www.geokniga.org (дата обращения: 03.10.2017)
7. Е.Н. Соколова, С.З. Смирнов, Е.И. Астрелина, И.Ю. Анникова, А.Г. Владимиров, П.Д. Котлер. Состав, флюидный режим и генезис онтогонит-эльвановых магм Калгутинской рудно-магматической системы (Горный Алтай). Геология и геофизика : журнал. — 2011. — 1 ноябрь (т. 52, № 11). — С. 1748—1775.

8. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н. Выпуклые бугры пучения многолетнемерзлых торфяных массивов / под ред. Ю.К. Васильчука. М.: Изд-во Московского ун-та, 2008.
9. Бугры пучения [Электронный ресурс]: https://elementy.ru (дата обращения: 04.10.2017)
10. Влияние хозяйственной деятельности на криогенные процессы [Электронный ресурс]: http://science-konspect.org (дата обращения: 04.10.2017)
11. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н. Миграционные бугры пучения на европейском севере России. Южный и северный пределы ареала и современная динамика. // Журнал Инженерная геология. Геокринология, 2011
12. Н.А. Цехановская. Криогенный лик Юго-восточного Алтая
13. Кац Н.Я. Типы болот СССР и Западной Европы и их географическое рапространение. М.: Гос. изд-во географической литературы, 1948. 318 с.
14. Лаврова М.А. О нахождении вечной мерзлоты в районе Волчьей и Монгоче тундр на Кольском полуострове // Труды комиссии по изучению вечной мерзлоты АН СССР. Л.: Изд-во АН СССР, 1934. Т. 3. С. 117–120.
15. Сумгин М.И. К вопросу о вечной мерзлоте в торфяных буграх на Кольском полуострове // Труды комиссии по изучению вечной мерзлоты АН СССР. Л.: Изд-во АН СССР, 1934. Т. 3. С. 107–115.
16. Елина Г.А., Арсланов Х.А., Климанов В.А., Усова Л.И. Растительность и климатохронология голоцена Ловозерской равнины Кольского полуострова (по спорово-пыльцевым диаграммам бугристо-топяного болота) // Ботанический журнал. 1995. Т. 80. № 3. С. 1–16.

17. Шумилова Л.В. О бугристых торфяниках южной части Туруханского края // Известия Томского отделения Русского ботанического общ-ва. 1931. Т. 3. С. 1–13.
18. Бобов Н.Г. Современное образование многолетнемерзлых бугров пучения на Лено-Вилюйском междуречье // Известия АН СССР. Серия геогр. 1960. № 5. С. 64–68.
19. Välliranta M., Kaakinen A., Kuhry P. et al. Scattered late-glacial and early Holocene tree populations as dispersal nuclei for forest development in north-eastern European Russia // Journal of Biogeography. 2010. V. 38. Iss. 5. P. 922–932.
20. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н. Миграционные бугры пучения в южной части криолитозоны Средней Сибири // Журнал Инженерная геология. Геокринология, 2013