

Санкт-Петербургский государственный университет

КОЗЫРЕВ Матвей Михайлович

Выпускная квалификационная работа

***Опасные геологические процессы и их отражение в рельефе и строении
четвертичных отложений морей арктического сектора России***

Направление 05.03.02 «География»

Основная образовательная программа СВ.5019.2015 «География»

Профиль «Геоморфология и палеогеография»

Научный руководитель:

профессор кафедры геоморфологии,
Института Наук о Земле,
д. г.-м. н., Рыбалко А.Е.

Рецензент:

Ведущий научный сотрудник,
ФГБУ «ВНИИОкеангеология»

Локтев А.С.

Санкт-Петербург

2019

Содержание.

Введение.....	3
Глава 1. Физико-географическая и геологическая характеристика арктических морей и основные факторы их освоения человеком.....	5
Глава 2. Изученность опасных геологических процессов.....	12
Глава 3. Методы геолого-геофизических исследований геологических опасностей.....	17
Глава 4. Геологические опасности в ходе инженерно-геологических изысканий исследуемого региона.....	27
4.1. Классификация опасных геологических процессов для полярных морей России.....	27
4.2. Характеристика опасных геологических процессов для полярных морей России.....	29
4.2.1 Ледовые.....	29
4.2.2 Литодинамические-геоморфологические.....	32
4.2.3 Геокриогенные и посткриогенные.....	37
4.2.4 Физико-химические и биохимические.....	39
4.2.5 Сейсмические.....	44
4.2.6 Субвертикальные движения земной коры.....	47
4.2.7 Цунами.....	47
Глава 5. Районирование полярных морей России по характеру проявления геологических опасностей.....	49
Заключение.....	54
Список литературы.....	55

Введение.

Арктический регион является перспективной и важной геологической областью современности. Его значение для России приобретает с каждым годом всё большую важность. Ему уделяется повышенное внимание, связанное с осознанием его роли в сохранении экологического равновесия на планете. В этом регионе формируются глобальные атмосферные и океанические процессы, сосредоточены топливно-энергетические, минеральные, а также биологические ресурсы, являющиеся основой жизни как коренных малочисленных народов, так и всего населения нашей страны.

Огромные бедствия человечества связаны с проявлением опасностей, вызванных геологическими процессами. Проявление опасных геологических процессов, таких как извержения вулканов или землетрясения, всегда представляли угрозу для живущего рядом человека и экосистем в целом. Они развивались на протяжении всей истории Земли, развиваются сейчас и будут развиваться в будущем.

Опасные геологические процессы полярных морей России обязательны к изучению, особенно если в зоне их распространения ведутся проектные работы, выполняющиеся вне зависимости от размеров и значимости объекта строительства.

Помимо строительной отрасли в настоящее время регион представляет огромный интерес благодаря полезным ископаемым, которые находятся в его недрах. Арктика является источником минерального сырья, особенности формирования и размещения которого определяются геологическим строением: арктической депрессией, включающей океаническое дно, широкие ступени шельфа и материковое плитное обрамление. Мониторинг опасных геологических процессов важен при работах, направленных на выявление перспективности нефтегазоности конкретных районов.

Актуальность выпускной квалификационной работы обусловлена необходимостью систематизации данных о геологических опасностях с целью понимания их развития и прогнозирования в будущем.

Объектом исследования данной работы являются опасные геологические процессы морей арктического сектора России.

Предметом исследования являются особенности развития и распространения опасных геологических процессов в пределах арктических морей России.

Основная *цель* работы – выявление закономерностей проявления геологических опасностей в российском секторе Арктики.

При написании выпускной квалификационной работы автор ставит перед собой следующие *задачи*:

- ознакомиться с накопленной информацией по теме, обратившись к литературным источникам;
- освоение методик проведения геофизических исследований и аппаратурно-методических комплексов, а также интерпретации полученных данных;
- осуществить районирование арктического шельфа России по распространению тех или иных опасных геологических процессов на основе анализа и интерпретации имеющихся материалов по данному вопросу.

Глава 1. Физико-географическая и геологическая характеристика арктических морей и основные факторы их освоения человеком.

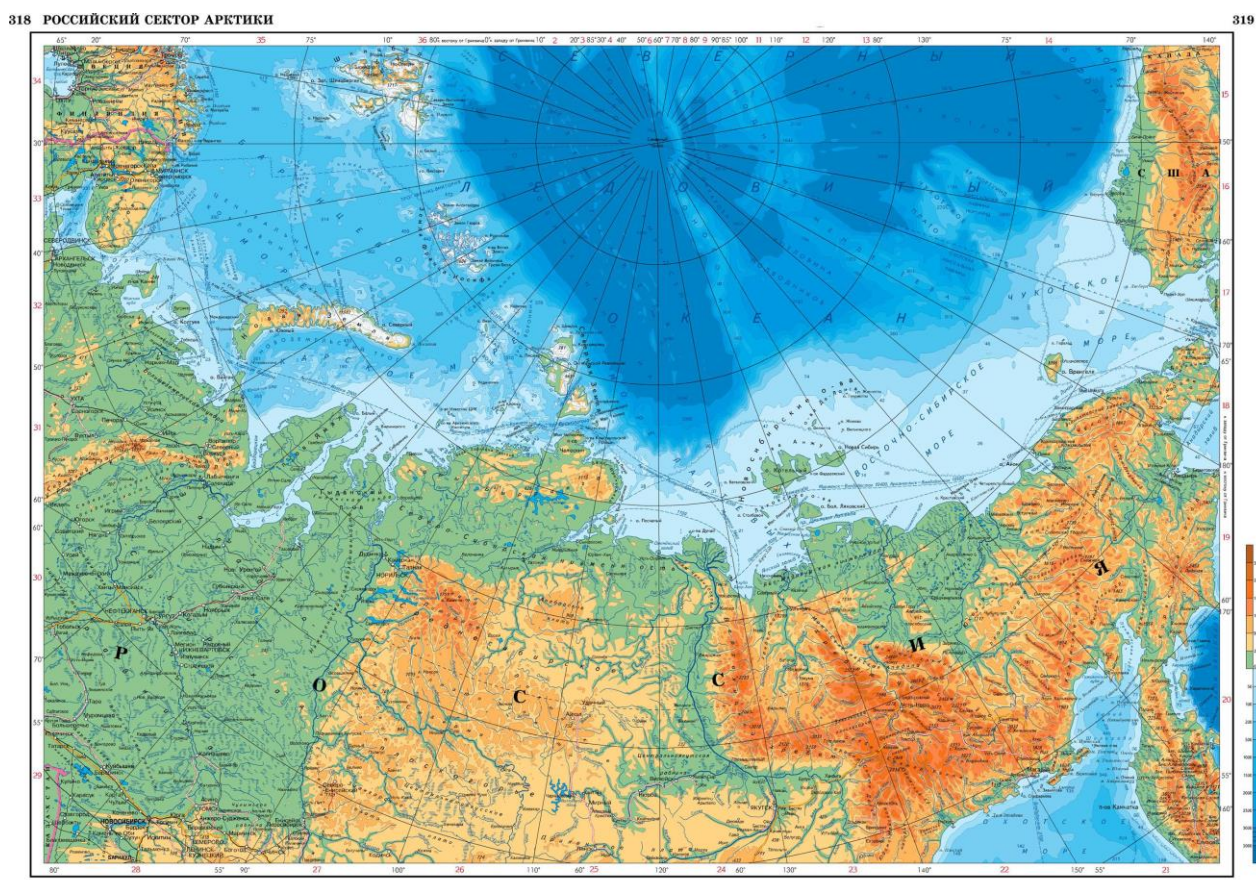


Рисунок 1. Карта российского сектора Арктики (Национальный атлас России, 2004)

Моря российского сектора Арктики принадлежат Северному Ледовитому океану. К ним относятся Баренцево, Белое, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское. Их расположение приурочено к промежутку между 70 и 80 северной широтой, кроме Белого моря, которое пересекается Северным полярным кругом. Они омывают территорию РФ с севера. Все перечисленные моря окраинные, за исключением Белого, являющегося внутренним. Арктические моря отделяются друг от друга островами или архипелагами, такими как Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Новая Земля, Северная Земля, о. Врангеля и т.д. Хотя и Баренцево море является самым глубоководным шельфовым морем в мире, причиной преимущественной мелководности морей является их расположение в шельфовой зоне. Общая площадь морей составляет более 4,5 млн км² (Физическая география России, 2001).

Область арктических морей расположена в пределах Восточно-Европейской, Сибирской и Северо-Американской литосферных плит. Исходя из геологического строения Арктики, в районе шельфа Северного Ледовитого океана встречаются бассейны палеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста. Системы складчатых структур, обнажённых на берегу или островах, отличаются наличием реликтов активных окраин и коры континентального типа. Это говорит о том, что океанические бассейны на территории современного Северного Ледовитого океана развиваются с позднего рифея. Общее название, предложенное для данных бассейнов – Протоарктический океан (Косько и др., 2008).

На территории российского сектора Арктики выделено несколько крупнейших структур – седиментационных бассейнов. К ним относятся Баренцево-Северокарский, Южно-Карский, Лаптевский и Восточносибирско-Чукотский. В Баренцево-Северокарский бассейн входит Свальбардская плита, Баренцевоморский мегапрогиб, Северо-Карская плиты. Южно-Карский бассейн имеет как внутреннюю, так и внешнюю стороны. К внешней относятся Вайгач-Новоземельская и Притаймырская моноклинали, Северо-Сибирский порог, Западно-Карская и Восточно-Карская террасы. Внутренней зоне соответствует Южно-Карская впадина. Лаптевский бассейн разделяется на две области – Западно-Лаптевскую и Восточно-Лаптевскую. Они осложнены системой горстов, грабенов, поднятий, прогибов и сбросов. Восточносибирско-Чукотский седиментационный бассейн расположен от Новосибирских островов до полуострова Аляска. В его пределах выделяют поднятие Де Лонга, прогиб Вилькицкого, Чукотскую платформу, Новосибирский прогиб, Жоковскую впадину, Джара-Кюельское поднятие, Благовещенскую структурную террасу, Шелагское поднятие, Айонскую впадину, Врангелевско-Геральдскую гряду и Южно-Чукотский прогиб (Косько и др., 2008).

Арктические острова представляют собой выступающие над водой наиболее возвышенные участки шельфа. Несмотря на то, что некоторые острова (например Карского моря) не поднимаются выше 35-40 метров над водой, их геолого-геоморфологическая структура продолжается под водой на многие километры. Наоборот, горные сооружения Вайгача, Новой Земли, Северной Земли и о. Врангеля являются «реликтами» наиболее ярких морфоструктур суши, которые чужды плоскому рельефу шельфа и прибрежных низменностей и их мощному осадочному чехлу. За северной кромкой Арктического шельфа располагается глубоководный Арктический бассейн, океанические впадины и хребты которого также частично входят в рамки описываемого

региона. Отрезок хребта Ломоносова в пределах российского сектора Арктики достигает длины в 1200 км. Его ширина варьирует от 60 до 200 км. Хребет Альфа-Менделеева простирается на 1200 км от шельфа Чукотского моря вдоль меридиана 180° (Советская Арктика, 1070). Часто встречаемое утверждение о том, что хребет Гаккеля является продолжением Срединно-Атлантического хребта, например в статье (Грачёв, Деменицкая и др., 1970), не совсем верно, поскольку хребет Гаккеля является самостоятельной молодой рифтогенной структурой, его морфология отличается. Исследователи правы в том, что эти две структуры сочленяются.

В зависимости от эндогенных процессов и морфологии рельефа дна выделяется 5 типов морфоструктур: прибрежная равнина, равнина внешнего шельфа, равнина погруженного шельфа, днище и склоны шельфовых желобов (Магрицкий и др., 2013). Максимальная глубина Белого моря (323 м) приурочена к впадине, простирающейся от Онежского полуострова к Кандалакшскому заливу. Данный участок был сформирован за счёт выпахивания языком ледника, спускающегося с Кольского полуострова. Баренцево море так же отличается наличием большого числа желобов. Однако имеются и поднятия в южной части его акватории. Восточная часть моря формировалась вследствие схода ледника, а южная – аккумулятивной деятельностью крупных рек Обь, Таз и Енисей. Рельеф морей Восточной Арктики отличается малой глубиной дна и невысоким расчленением. Южная часть сформирована аккумулятивными равнинами, образованными наносами впадающих Хатанги, Лены, Яны и Индигирки. В море Лаптевых встречаются рифтогенные депрессии глубиной до 50 м, образованных на продолжении хребта Гаккеля. Для центральных частей Восточно-Сибирского и Чукотского морей характерен выровненный рельеф с глубинами 25-100 м (Магрицкий и др., 2013).

Ведущее место в климатообразовании региона занимает Северный Ледовитый океан. Его климатические особенности определяются положением в полярных широтах (от 70 до 90° с.ш.), то есть преимущественно радиационным выхолаживанием и выносом воздуха над тёплыми течениями с Атлантического и Тихого океанов. В течение всего года здесь преобладают арктические воздушные массы. В регионе почти всегда формируется область повышенного давления – арктический антициклон, особенно усиливающийся зимой. Иногда прорываются и циклоны со стороны Атлантики, а летом со стороны Сибири. Из-за длительной полярной ночи и полярного дня суточный ход метеорологических элементов несколько сглажен (Селин и др., 2011). Температура воздуха января существенно меняется при движении с запада на восток: от –5°С до –15°С

в Баренцевом море, около -20°C в Карском море, до -30°C в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском, в Чукотском до $-28\dots-25^{\circ}\text{C}$. В районе Северного полюса температура составляет $-40\dots-45^{\circ}\text{C}$. Летом, во время полярного дня, весь поток солнечной радиации расходуется на таяние снежного и ледового покровов. Поэтому температуры июля у северной границы морей составляют около 0°C , у материка – около $+5^{\circ}\text{C}$. Баренцеву и Белому морю характерны температуры выше, до $+10^{\circ}\text{C}$. Это означает, что летом разница в климате почти нивелируется. Температура воды летом достигает 0°C , а у материка до $+5^{\circ}\text{C}$, в Баренцевом море до $+10^{\circ}\text{C}$. Температура воды зимой равна температуре замерзания, то есть около $-1,5^{\circ}\text{C}$, в Баренцевом море до $+5^{\circ}\text{C}$ (Физическая география России, 2001).

Яркой характерной особенностью арктических морей является скованность льдами на протяжении всего года. Однако зимой единственному Баренцеву морю удаётся оставаться свободной ото льда, хоть и не полностью. Среди морских видов льда выделяются береговой припай, заприпайные полыньи, арктический пак и материковые льды – айсберги.

Моря региона открытые, им характерна свободная циркуляция вод. В Баренцево море благодаря широкому проливу между Шпицбергенем и Скандинавским полуостровом попадают тёплые воды Северо-Атлантического течения. На востоке ситуация иная: влияние Тихого океана наблюдается не столь сильно, поскольку океаны соединяются более узким Беринговым проливом.

Около 70% территории РФ относится к бассейну Северного Ледовитого океана, поэтому речной сток в арктические моря велик. Реки опресняя моря, снижают солёность вод от 35‰ до 3-5‰ (Физическая география России, 2001).

Арктические почвы островов Арктики разделяются на 3 подтипа: пустынно-арктические, типичные арктические и тундровые-арктические. Наиболее существенным фактором, характеризующим арктические почвы мерзлота, препятствующая выносу микроэлементов за пределы почвенного покрова и определяющая температуру вышележащих слоёв, возможности дренажа, конденсации влаги. Арктическим почвам характерно низкое содержание гумуса, за исключением тундрово-арктических (Чилингаров и др., 2014).

На арктических островах наблюдается чрезвычайно бедная флора и своеобразные формы разряженного растительного покрова. Растительность здесь образует 3 яруса: подземный (корневой), напочвенный и травянистый. Очень часто подземный ярус развит слабо, что связано с близостью поверхности мерзлоты. Напочвенный ярус состоит из мхов, лишайников, грибов и водорослей. Травянистая растительность представлена, в основном, злаками. Поверхность земли обычно покрыта растительностью на 20–50%. Внутренние области арктических островов значительно беднее растительностью, нежели чем прибрежные районы. Здесь покрытие растительностью составляет всего 1–3%. Бедность растительного покрова объясняется слабым увлажнением и большой сухостью территорий. Возвышенные каменистые пространства почти безжизненны. На ледниковых куполах на поверхности снега и на прибрежных морских льдах расселяются представители особой группы растений – снежные водоросли, простейшие организмы, приспособившиеся к крайне суровым условиям выживания (Чилингаров и др., 2014).

Рыбы, птицы и млекопитающие составляют группу позвоночной фауны. Здесь насчитывается более 150 видов рыб, среди которых основу арктического рыболовства составляют сельдь, тресковые, камбаловые. Сайка служит кормом для многих полярных животных. Количество видов птиц составляет более 100, преобладающие – кулики и пластинчатоклювые. Смешанные колонии образуют птичьи базары. Из наземных млекопитающих известны 3 отряда: хищные, грызуны, парнокопытные. Морские млекопитающие включают 14 видов китообразных и 9 видов ластоногих. На западе арктических морей, испытывающих отепляющее влияние Атлантики, видовой состав и продуктивность биомассы намного богаче, чем в восточной части региона. Суровые климатические условия приводят к тому, что на арктических островах нет зимующих птиц, а миграционные пути встречаются у многих морских млекопитающих, рыб, северных оленей, песцов и белых медведей (Чилингаров и др., 2014).

Освоение Арктики человеком за последние века проходило по пяти направлениям:

- описания берегов гидрографами;
- исследования центральной Арктики, целью которых в начале было достижение Северного полюса, а затем – познание закономерностей природных процессов в гидросфере и атмосфере;
- географические открытия;

– освоение Северного морского пути и попытки организации судоходства по Северо-западному морскому проходу;

– освоение минеральных и биологических ресурсов, строительство морских портов, предприятий и городов.

Черты природной и климатической экстремальности, очагового характера промышленного освоения, предельно низкой плотности населения, удалённости от основных центров страны и транспортной недоступности, присущие территориям Арктики, означают «анклавный» и нестационарный характер. Ещё в первых своих работах по освоению Севера (Славин, 1961) определён выборочно-сплошной характер промышленного использования данных территорий. Эти фундаментальные особенности до сих пор сохраняют своё значение для большинства арктических территорий России.

Главную роль в освоении Арктики на всех этапах играют территориально рассредоточенные виды деятельности. Они являются в большей или меньшей степени экспедиционными (геологоразведка, горный промысел, нефтегазодобыча, лесозаготовка, северное сельское хозяйство) и испытывают воздействие сезонности, осуществляются с использованием вахтового метода организации работ, имеют гибкую и изменчивую пространственную структуру.

Высокие мировые цены на энергоносители заставили многих обратить внимание на Арктику, где по экспертным оценкам, скрыты значительные запасы нефти и газа. Освоение континентального шельфа и превращение Арктики в крупнейший регион мировой нефтегазодобычи – ключевая перспективная задача России (Чилингаров и др., 2014).

Особенности рельефа и геологического строения обуславливают нахождение полезных ископаемых. Опираясь на прогнозы Министерства природных ресурсов и экологии РФ, можно утверждать, что на российском арктическом шельфе сосредоточены 15,5 млрд т нефти и 84,5 трлн м³ газа. Это составляет около 20 % мировых запасов углеводородов. Также Министерство заключает, что в российской Арктике сосредоточено большинство уникальных и крупных месторождений углеводородов. Перспективными на нефть и газ признаны 43% суши и 70% площади шельфа Арктической зоны России. На сегодняшний день в макрорегионе открыто 594 месторождения нефти, 159 — газа. Начальные извлекаемые разведанные запасы нефти в российской Арктике составляют

около 7,7 млрд т. Из них 500 млн т на шельфе. Запасы газа — 67 млрд м³ (10 млрд — на шельфе). При этом ещё неразведанный потенциал Арктической зоны составляет свыше 90% на шельфе и 53% на суше. Помимо этого, Арктика богата не только углеводородами. В материковой и прибрежно-морской арктической зонах широко распространены другие месторождения — источники железа, титана, меди, никеля, кобальта, россыпные и коренные месторождения золота, серебра и платиноидов, алюминия и галлия, редких металлов, а также фосфора и группы редкоземельных металлов. В регионе разведаны месторождения углей, в том числе коксующихся, алмазов и др. полезных ископаемых (Никулин, 2017).

Наиболее крупные запасы сырья и месторождения невозобновляемых ресурсов приурочены к самым богатым по продуктивности биоценозам. Поэтому места промышленного освоения часто совпадают с местами проживания коренных малочисленных народов Севера и наносят ущерб традиционному хозяйству. В связи с этим, они оказываются в бедственном положении, проживая в районах добычи нефти и газа.

Эффективное освоение Арктики невозможно без должного транспортного обеспечения региона. Ключевая роль в его развитии отводится Северному морскому пути, представляющему собой кратчайший водный путь, соединяющий западные и восточные районы страны, европейские и азиатские порты.

В результате хозяйственной, военной и иной деятельности в Арктике в последние десятилетия происходит постоянный количественный рост поступления в окружающую среду разнообразных загрязняющих веществ. Загрязнение вод полярных морей, атмосферы, расширение антропогенных ландшафтов и эксплуатация биологических ресурсов ведут к быстрой деградации окружающей среды и обеднению биоразнообразия.

Глава 2. Изученность опасных геологических процессов.

Геологический процесс имеет вероятность проявления в конкретном месте, в заданное время и с определёнными энергетическими характеристиками (скорость развития процесса, площадь, на которой он проявляется; объёмы горных пород, вовлечённых в процесс, дальность их перемещения) (Природные опасности России, 2002). Опасные геологические процессы осуществляют негативное воздействие на инфраструктуру, изменяя состояние территории, зданий и сооружений, наносят вред окружающей среде и нарушают жизнедеятельность людей.

Причины, влияющие на развитие опасных геологических процессов, можно условно разделить на антропогенные и природные. К антропогенным причинам относится деятельность человека, в большинстве случаев – строительство, а к природным – гидрометеорологические, тектонические и гидрогеологические условия.

Возникая и развиваясь, геологические опасности приводят к аварийным ситуациям, в результате которых пострадавшим является человек и экосистема в целом. Чтобы не допускать появления данных проблем, не только в России, но и за рубежом начали изучать опасные геологические процессы. Создаётся система постоянного наблюдения, названная мониторингом. Благодаря мониторингу удаётся исследовать динамику процесса, спрогнозировать его развитие, оценить возможный вред и предотвратить. Мониторинг осуществляется как визуально, то есть без применения аппаратуры и техники, так и наоборот, применяя её и проводя измерения инструментально. Этот вопрос будет затронут автором работы в следующей главе.

Одним из проявлений опасных геологических процессов является выщелачивание карбонатных пород с образованием карста или пустот под землей. На земной поверхности часто появляется воронка, свидетельствующая о том, что под поверхностью земли произошло обрушение. Однако помимо природных сил, источником такого явления, как уже было ранее упомянуто, может послужить и человек. Мы, изучая ту же самую геологию и осваивая подземное пространство планеты, создаём тоннели и горные выработки. Не все техногенные изменения сказываются положительно. Нередко мы становимся зачинщиками негативных последствий и активизации нежелательных природных процессов. Мной в курсовой работе «Город как геоморфологическая система» за второй год обучения в университете была описана судьба чешского города Кутна-Гора, который был основан в XIII веке из-за найденных в недрах жил серебра. В связи с

разработкой копей была существенно нарушена целостность коренных горных пород. Рельеф местности был искажён из-за гнейса, который извлекли на поверхность, во многих районах города наблюдались оседания. Оседания располагались хаотично и причинили ущерб многим важным историческим строениям.

Как мы видим, опасные геологические процессы не могли не привлекать внимание местных жителей и исследователей уже на самых ранних стадиях изучения геологического строения регионов. Первыми с инженерной точки зрения привлекали интерес явления разрушения берегов и заносимости искусственных гидротехнических сооружений в береговой зоне морей и океанов. Процесс разрушения морских берегов в зоне развития инженерной инфраструктуры играл столь значительную роль, что с самого начала привел к образованию специальных служб, занимающихся устойчивостью береговой линии. В открытой части моря, точнее в океанах, привлечение внимания к этой проблеме связано с нарушением телеграфных линий «Европа – США» турбидитовыми потоками в XIX веке, открытие которых как раз и оказалось связанным с этим явлением. Не менее важным для населения на океанических побережьях являлось воздействие на них цунами, причем по мере развития цивилизации ущерб от этого катастрофического явления только увеличивался.

На суше данные явления давно учитывались в рамках инженерно-геологических изысканий и эксплуатации инженерных сооружений. К опасным геологическим процессам стали относить современные быстротекущие геологические процессы и явления, наносящие значительный материальный ущерб обществу, народному хозяйству и создающие угрозу жизни для людей при нарушении устойчивости природной (геологической среды). В их перечень включали: склоново-гравитационные (оползни, обвалы, лавины); водно-эрозионные (селевые потоки, русловые явления, овражная эрозия) процессы, а также явления, связанные с подземными водами (подтопление, карст, суффозия, просадки); ветро-волновыми явлениями на акваториях (морская абразия, переработка берегов водохранилищ); процессы криогенной группы (термокарст, морозное пучение, термоэрозия, солифлюкция, наледи); землетрясения, извержение вулканов и др.

В акваториях эти процессы стали привлекать внимание по мере хозяйственного освоения дна акваторий, что произошло в середине XX века. Освоение шельфа нефтегазовыми компаниями привело к появлению новых геологических процессов, таких как проседание грунта на обширных площадях, активизация геодинамических процессов,

прежде всего, сейсмических толчков и пр. Прокладка протяженных трубопроводов по дну морей, изначально ограниченный доступ к ним для технического обслуживания – все это приводит к появлению повышенных требований к изучению геологического субстрата для инженерных сооружений и, прежде всего, процессов, приводящих к изменению морфологии морского дна и возможному нарушению прочности сооружаемых объектов. Особое внимание в полярных морях было привлечено к многолетнемерзлым породам, так как контакт с ними техногенных объектов может приводить к деградации мерзлоты и резкому изменению физико-механических свойств горных пород и донных осадков. Новой и весьма опасной проблемой по мере развития инженерного освоения шельфа стала проблема заключенных в донных осадках газов.

Исходя из вышесказанного, проблема геологических опасностей начала активно изучаться только в прошлом столетии. Исследователи подошли к изучению данных процессов благодаря формированию новой отрасли инженерной геологии – морской инженерной геологии. Впервые данный термин употребил Е. М. Сергеев на первом Межведомственном совещании по инженерной геологии в 1968 году. Им были выделены прикладные направления инженерной геологии как морских шельфов, так и континентальных склонов, а также дна морей и океанов (Сергеев, 1989). Помимо Сергеева большой вклад в становление морской инженерной геологии внёс Д. М. Сулейманов, исследовавший инженерно-геологические особенности шельфа Каспийского моря в связи с нефтедобычей (Сулейманов Д.М., 1955). Морской инженерной геологии так же стало известно имя Л. Б. Розовского, который помимо фундаментальных вопросов определения и классификации шельфов поставил задачу выявления осадконакопления на шельфах разных генезисов и плавно подошедшего к изучению подводных оползней (Розовский, 1969).

Проведение инженерно-геологических исследований в Советской Арктике началось в 60-ые годы. Помимо регионального инженерно-геологического изучения это было связано со строительством в прибрежных районах. Геокриологические особенности Арктики обобщаются в монографии «Геокриология СССР», состоящей из 5 томов, и на Геокриологической карте Арктического шельфа, созданной в масштабе 1:2 500 000.

В 80-ые годы выходит «Инженерная геология СССР. Шельфы СССР», в которой уже непосредственно описываются выявленные геологические процессы, представляющие опасность, как выходы газов на дне, так и ледовая экзарация.

Сейчас возможности исследований опасных геологических процессов значительно расширились, что связано с развитием оборудования. Были усовершенствованы многолучевые эхолоты, гидролокация бокового обзора вышла на новый уровень, расширились возможности сейсмоакустического профилирования.

Одной из важнейших прогнозных задач в контексте изучения опасных геологических процессов является оценка возможности их «цепного» развития. Под этим термином понимаются случаи, когда проявление одного процесса вызывает или усиливает другой. Цепное развитие может приобретать катастрофический характер, хотя в самом начале этой цепи проявление процессов может иметь незначительные масштабы и не представлять угрозы.

Как известно, основной целью исследований опасных геологических процессов является получение достоверной информации о состоянии компонентов окружающей среды на контролируемой территории для своевременного выявления и прогнозирования этих процессов в целях разработки и реализации мер по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. На сегодняшний день эти исследования проводятся в рамках всех основных видов изысканий для строительства: инженерно-геологических, инженерно-экологических, инженерно-геотехнических, инженерно-геодезических и инженерно-гидрометеорологических, включая такие специальные виды работ, как инженерно-геофизические, инженерно-геокриологические, гидрогеологические, изучение опасных процессов и разработка рекомендаций по инженерной защите территорий, изучение русловых процессов водных объектов, деформаций и переработки берегов, литодинамические исследования на континентальном шельфе и пр. (Ермолов, 2014).

Автором за годы обучения в университете была получена информация от профильных преподавателей, что наблюдается следующая тенденция. Как показывает практика, далеко не все специалисты, принимающие участие в инженерных изысканиях, знакомы с ними. И напротив, наиболее подготовленные к решению подобных задач исследователи (геоморфологи, геологи) не всегда участвуют в проведении инженерно-экологических или иных видов изысканий и мониторинга. Все это в совокупности ведет к снижению качества оценки различных факторов устойчивости территорий, ошибкам в прогнозировании развития геологических процессов, недоучету региональных особенностей и, как следствие, к материальным и экологическим потерям.

Сейчас трубопроводные и другие транспортные системы охватывают самые дальние уголки страны, продолжая постоянно расширяться. Арктическое побережье и шельфовые области окраинных морей, Сибирь, Дальний Восток, Камчатка, Северный Кавказ, Черноморское побережье — вот далеко не полный перечень регионов, где выполняются изыскания для строительства различных линейных объектов. Большое разнообразие природно-климатических, тектонических и геологических условий определяет заметно выраженную региональную специфику развития экзогенных геологических процессов. Широко варьируют как перечень геологических процессов, развитых на той или иной территории, так и их интенсивность, мощность и условия проявления.

Важно подчеркнуть, что далеко не все геологические процессы следует относить к опасным. В соответствии с нормативными документами (ГОСТ 22.0.03-95, 1995; ГОСТ Р 22.1.06-99, 1999; СП 115.13330.2012, 2012) к их опасным проявлениям относятся такие события геологического происхождения или такие результаты деятельности геологических процессов, которые оказывают или могут оказать поражающее воздействие на людей, объекты экономики и окружающую природную среду. Другими словами, проявления одного и того же процесса могут рассматриваться как опасные или как неопасные по отношению к различным видам инженерных сооружений в зависимости от масштабов развития этого процесса, интенсивности его проявлений, технических характеристик сооружений и других факторов.

В настоящее время практически отсутствуют программы прогноза и предупреждения опасных эндогенных и экзогенных процессов, необходимые для уменьшения их риска (Подгорная, 2013).

Глава 3. Методы геолого-геофизических исследований геологических опасностей.

Проблема выявления и описания развития опасных геологических процессов как на суше, так и на море наиболее успешно решается благодаря геолого-геофизическим методам. Поисково-разведочные и инженерно-геологические работы на акваториях немислимы без применения геолого-геофизических методов, так как возможности визуальных наблюдений ограничены, а бурение скважин обходится дорого.

При геологических исследованиях на суше выбор методов намного шире, чем при морских. В условиях морских работ основным источником информации служат геофизические методы. Морские исследования обладают своей спецификой. При их осуществлении проводят наблюдения, двигаясь по поверхности воды на судне. На него помещают источники поля и измерительную аппаратуру. Заземление датчиков данной аппаратуры проходит намного проще из-за жидкой среды, которая является ещё и более однородной, чем грунт и горные породы исследований на суше. Удобство методов заключается в приближении ко дну и перемещению по нему измерительных приборов, благодаря чему увеличивается регистрируемый сигнал, и повышается разрешающая возможность. Участники могут разместить ЭВМ на судне, что позволяет улучшить качество обработки и интерпретации полученной геологической информации.

Зависимость от погодных условий является одним из минусов геофизических методов, применяющимся на морских акваториях.

Однако с методической и технической точек зрения водная среда создаёт благоприятные условия для проведения геолого-геофизических наблюдений, обеспечивая надёжность и неизменность условий возбуждения и измерения физического поля. В водной среде можно проводить непрерывные исследования, причём при интерпретации материалов исключается необходимость интерполяции между точками наблюдений (Шувалов, 1995).

Принципиальные возможности изучения применения геофизических методов для решения задач, связанных с геологическими опасностями, основываются на различии физических свойств горных пород, которые характеризуются соответствующими физическими полями. Каждое физическое поле определяется своими параметрами, которые, в свою очередь, изучаются с помощью различных методов геофизических исследований.

Геофизические поля и их параметры изучаются самостоятельными методами разведочной геофизики. Поле силы тяжести исследуется гравиразведкой, электрическое и электромагнитное – электроразведкой, поле упругих колебаний – сейсморазведкой, магнитное поле – магниторазведкой.

Физические свойства горных пород определяют тот или иной тип физического поля. Характерно множество методов и их модификаций, каждая из которых изучают пространственное распределение отдельных параметров физических полей.

Гравиразведка и магниторазведка основаны на изучении чисто естественных полей. Сейсморазведка изучает только искусственные поля. Электроразведка – смешанный метод, основанный на изучении естественных и искусственных физических полей (Шувалов, 1995).

Наибольшей производительностью и простотой наблюдения отличается магниторазведка и гравиразведка, однако эти методы определяют лишь приближённые глубины залегания исследуемых объектов.

Электроразведочные методы исследования, имея меньшую производительность и более высокую стоимость работ, позволяют более точно оценить глубину залегания искоемых геологических тел.

Наибольшей точностью из геофизических методов обладает сейсморазведка, но она является самым дорогостоящим методом.

Эффективность методов разведочной геофизики при изучении опасных геологических процессов определяется правильностью выбора метода, модификации или комплекса различных инженерно-геофизических, инженерно-геологических и других способов исследований.

Шельфы морей Северного Ледовитого океана – область, в которой без исключений изучаются опасные геологические процессы посредством геофизики. Геофизические методы, применяемые в данном регионе при изучении геологических опасностей можно разделить на гидроакустику, сейсмоакустику и магниторазведку.

Согласно опыту исследователей и (Пособие по инженерным изысканиям для проектирования и строительства магистральных газопроводов на шельфе, 1996; Руководство по инженерно-геологическим изысканиям для самоподъёмных плавучих

буровых установок, 1989; Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений, 2004) при изучении геологических опасностей предпочтительнее выполнять следующие работы: многолучевая батиметрическая съёмка (эхолотирование), гидролокация бокового обзора (ГЛБО); сейсмоакустическое профилирование и сейсмические съёмки, магнитометрия.

Многолучевое эхолотирование – съёмка, при которой картографируется рельеф морского дна. Эхолотирование применяют, чтобы получить профиль подводного объекта и промерить глубины донных участков. В процессе данной съёмки одновременно собираются батиметрические данные и данные обратного рассеивания. Эхолотирование выполняется под широким углом обзора и с высоким расширением.

Многолучевой эхолот состоит из 4 элементов: излучателя, приёмника, преобразователя и экрана. Частота современных эхолотов составляет 50 или 200 Гц. Система устанавливается на транспортном судне. Излучаются короткие акустические импульсы, которые, распространяясь в воде, доходят до дна и отражаются от него. Достигая приёмника, полученные сигналы заставляют его испускать электрические импульсы, усиливающиеся в преобразователе. В конечном счёте данные выводятся на дисплей.

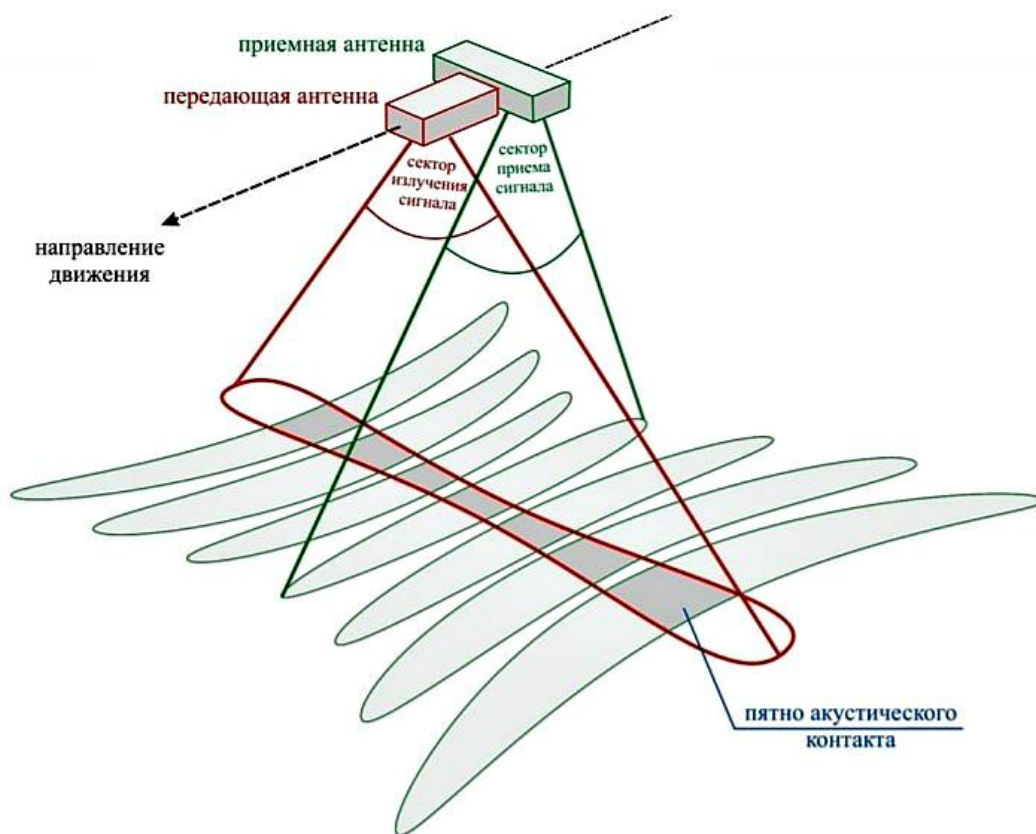


Рисунок 2. Принцип работы многолучевого эхолота.

Морское дно имеет свой рельеф, а значит отметка будет меняться в соответствии с глубиной под датчиком устройства. Если глубина уменьшается, то каждая следующая отметка располагается выше предыдущей, а если увеличивается – ниже предыдущей. В конце получается линейная модель, повторившая донный рельеф при движении транспортного судна.

Грунты имеют разную способность отражать и поглощать звуковые сигналы. Твёрдые грунты отражают лучше; полоса, их отображающая, намного шире, чем у мягких пород. Мягкие грунты создают на экране более тонкую линию.

Сейчас в Арктике эхолотирование осуществляется в большей степени со льда как на дрейфующих станциях, так и при посадке вертолётов, оборудованных эхолотами. В районах арктического шельфа эхолотирование производится с помощью транспортных судов, иногда с проходом ледокола.

Конечно, эффективность многолучевого эхолотирования для арктических широт как геофизического метода низка. Недостатками является небольшая скорость съёмки и влияние состояния морской поверхности, перенасыщенной льдом.

В комплексе технических средств, применяемых при исследовании и освоении ресурсов Мирового океана, существенное значение имеют и другие гидроакустические методы. Речь идёт о *гидролокации бокового обзора*, с помощью которой в 50-х годах прошлого столетия впервые удалось получить изображения больших участков дна, по своей структуре не отличающиеся от обычных фотографий.

Гидролокаторы бокового обзора обладают высокой производительностью и разрешающей способностью, позволяющей получить гидролокационное изображение дна с различной степенью детальности, увидеть и оценить особенности рельефа различной пространственной протяженности.

Совмещение синхронно полученных эхограмм гидролокации бокового обзора (ГЛБО) и гидроакустического профилографа позволяет судить о распределении форм рельефа на обследуемой площади, выявить геологические причины их возникновения. Эти данные используются при поиске нефти и газа, а также твердых полезных ископаемых.

Существующая аналогия между оптическим и гидролокационным изображением позволяет использовать зрительный аппарат оператора для расшифровки изображения с целью распознавания объектов, а также изменения форм рельефа и типа грунта.

В зависимости от назначения и полосы обзора гидролокаторы бокового обзора можно условно подразделить на три класса:

- низкочастотные гидролокаторы большой дальности действия для исследования рельефа дна в океане на глубинах до 6 000 м, рабочая частота примерно 6,5 кГц, полоса обзора на каждый борт до 22 000-25 000 м;
- для геологических исследований континентального шельфа (для исследований рельефа дна на глубинах до 500 м), рабочая частота 30-50 кГц, полоса обзора на каждый борт до 2 000-3 000 м;
- для поисковых и спасательных работ и получения детального изображения дна с высокой разрешающей способностью на глубинах до 100 м под акустическими антеннами, рабочая частота 100-200 кГц, полоса обзора 400-800 м на каждый борт.

Также существуют гидролокаторы с очень высокой разрешающей способностью, рабочая частота которых составляет 500-700 кГц, а полоса обзора 50-100 м.

В состав гидролокатора входят приемоизлучающие антенны, генераторные и приёмоусилительные устройства, а также устройства обработки, отображения и документирования информации. Гидроакустические антенны гидролокатора могут устанавливаться на забортных устройствах или непосредственно в борт судна, быть буксируемыми. При этом появляется возможность производить буксировку антенн на определенном отстоянии от дна, при котором достигается оптимальное соотношение разрешающей способности и полосы обзора в зависимости от решаемой задачи, а также уйти под слой температурного скачка. Гидролокационное изображение, получаемое с помощью обычного гидролокационного эхографа бокового обзора (ГЭБО), позволяет достаточно точно измерить лишь расстояние до объекта поиска или интересующего участка дна, а в некоторых случаях по теневой характеристике определить высоту отдельных объектов или неровностей дна. Дополненный фазометрическими каналами он может быть инструментом для измерения глубины в стороне от судна в широкой полосе обзора или определения координат целей, находящихся во взвешенном состоянии (например, якорных мин) (Гончар и др., 2004).

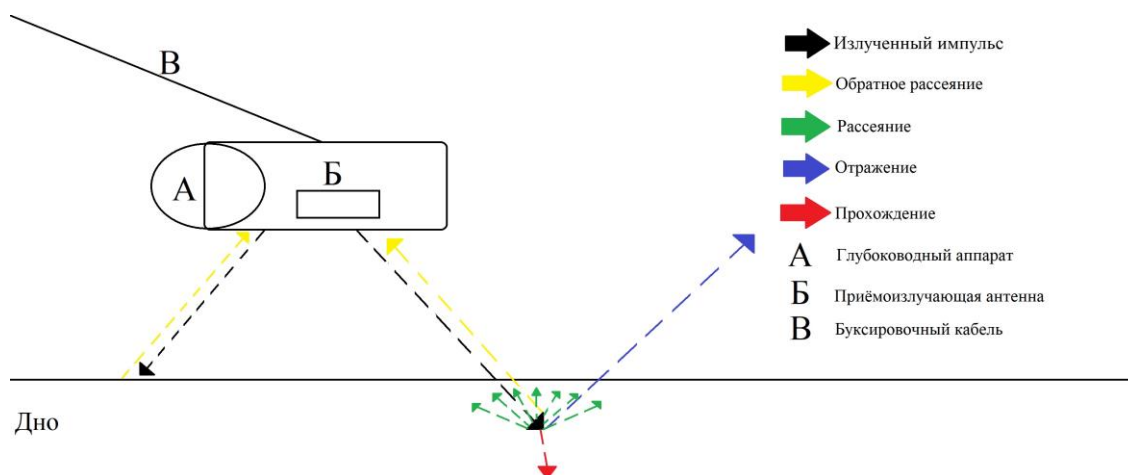


Рисунок 3. Принцип действия гидролокатора

Таким образом, гидролокатор бокового обзора является незаменимым средством не только при изучении опасных геологических процессов, но и при выполнении поисковых работ на дне океана, связанных с полезными ископаемыми.

Сейсмическая разведка основана на изучении распространения упругих волн, возбуждаемых искусственным путём с помощью взрывов, ударов и сотрясений земной поверхности. Упругие волны распространяются во всех направлениях и могут проникать в морскую воду и на большие глубины в земной коре. На границах пород различного состава они претерпевают отражение и преломление. Часть отражённых и преломлённых волн возвращается обратно к земной поверхности, где регистрируются специальной сейсморазведочной аппаратурой. Определяя время начала возбуждения упругих волн и время прихода волны к сейсмоприёмнику, можно определить глубину залегания и форму тех объектов или границ раздела различных геологических сред, на которых произошло отражение и преломление упругих волн.

В сейсморазведке используют для записи механических колебаний среды специальную аппаратуру, в которую входят:

- средства регистрации;
- обрабатывающие установки;
- источники возбуждения колебаний.

К регистрирующим элементам относят сейсмоприёмники (в морской сейсморазведке – с пьезоэлектрическими преобразователями), представленные сейсмоакустическими косами, усилители, фильтры, цифровые, магнитные и визуальные устройства записи данных. Совокупность этих данных называется сейсморегирующим каналом. Сеймостанции обычно имеют 24, 48, 96 и более каналов. Однако при инженерно-геологических изысканиях используются станции с меньшим числом каналов.

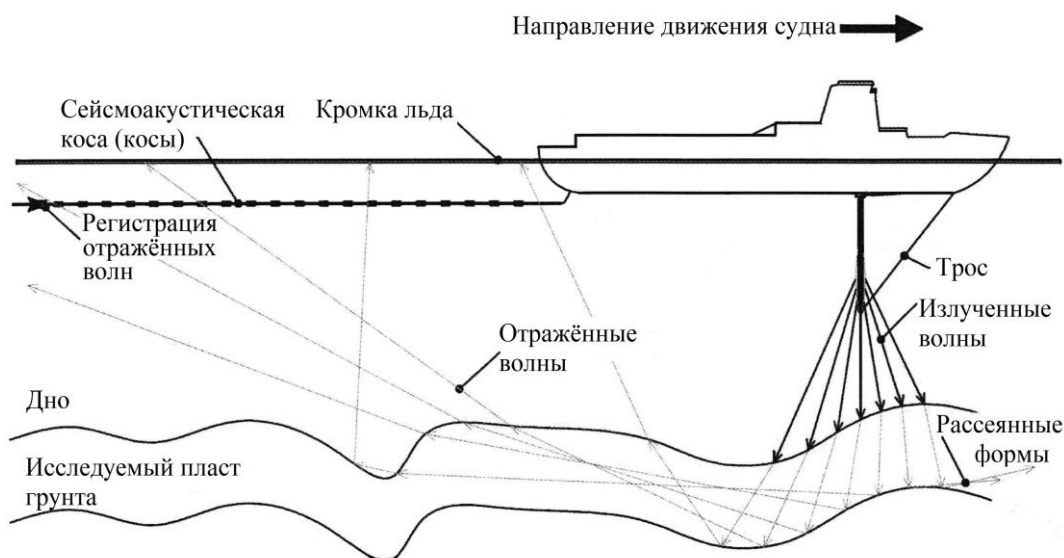


Рисунок 4. Морские сейсморазведочные работы.

Обрабатывающие устройства представляют собой комплексы, состоящие из ЭВМ и специализированных цифровых или аналоговых приборов.

Упругие колебания среды возбуждаются взрывными и невзрывными источниками колебаний.

В сейсморазведке наблюдения обычно выполняют по прямолинейным профилям (продольным), реже – по неперодольным или луговым, когда источники возбуждения упругих волн находятся в стороне от профиля. Для уверенной регистрации полезных волн и их прослеживания вдоль профиля следует корректно выбрать систему наблюдений, то есть взаимное расположение точек возбуждения и приёма, а также условия возбуждения и регистрации этих волн.

Конечными результатами сейсморазведочных работ является сейсмогеологический разрез, представляющий собой изображение сейсмических границ с соответствующей геологической привязкой.

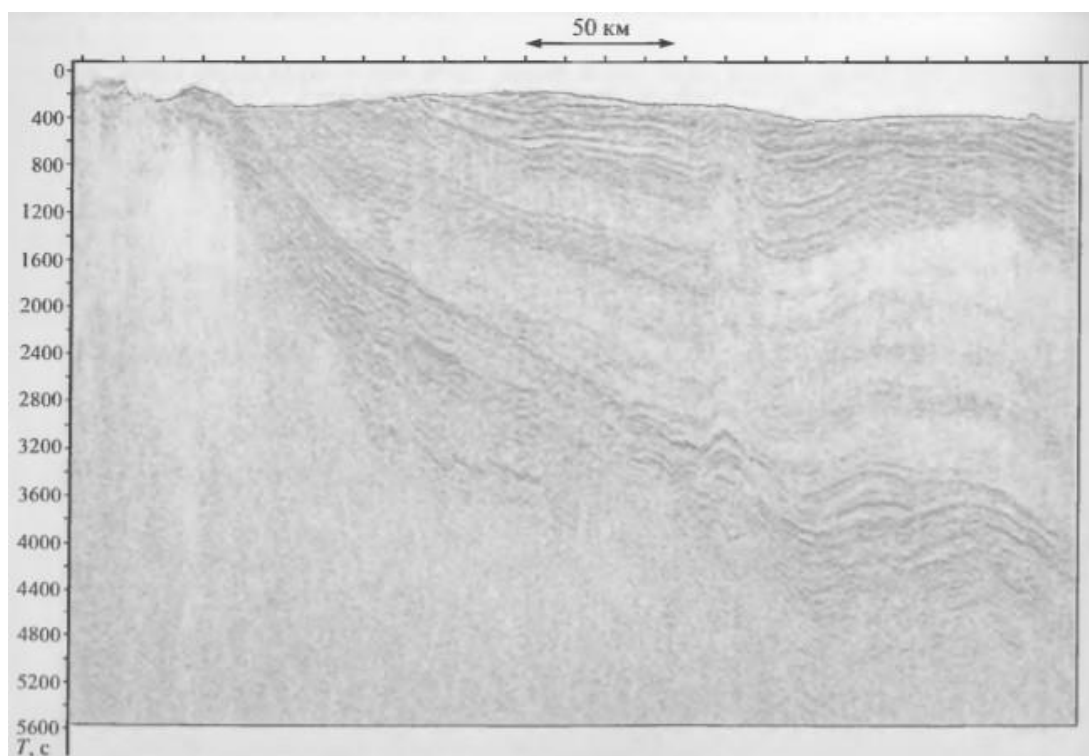


Рисунок 5. Фрагмент сейсмологического разреза в Баренцевом море (Телегин, 2004).

К примеру, с помощью данного метода выявляются разрывные нарушения. К прямым признакам выявления относятся резкие вертикальные смещения опорных горизонтов. Косвенные признаки проявляются в виде изменения преобладающей частоты регистрируемых волн и изменения скоростей.

Метод сейсморазведки позволяет выделить зеркало скольжения оползня, границы бортового отпора и изучить степень разрушенности пород, оценить направление скольжения и другие характеристики.

Применение сейсморазведки очень обширное. Она применяется на всех стадиях решения геологоразведочных задач. Сейсмическая разведка является одним из самых точных геофизических методов и самым дорогостоящим (Шувалов, 2004)

Магниторазведка является одним из геолого-геофизических методов, основанным на изучении изменений геомагнитного поля в пространстве, возникающих вследствие различной намагниченности горных пород.

Сущность магниторазведки заключается в наличии магнитного поля в пространстве, где действуют силы магнетизма.

Измерения магнитного поля проводятся на суше, на воде, в воздухе, космосе, скважинах и т.д. Они могут быть абсолютными и относительными. При геологических исследованиях во всех пунктах измеряются только относительные значения элементов магнитного поля по отношению к исходной или опорной точке. На этой точке нормальное поле условно принимается равным нулю. Суммарное магнитное поле, обусловленное внешними источниками поля и внутренней намагниченностью тела или среды, называется магнитной индукцией B . Современные приборы регистрируют полное значение B или его приращения. При измерениях магнитного поля приборы почти всегда находятся в немагнитной среде (в воздухе или воде).

Приборы, измеряющие модуль полного вектора магнитной индукции или его составляющих, а также их приращения, называются магнитометрами. Приборы делятся по принципу измерительного преобразователя. В условиях акваторий используются феррозондные, протонные и квантовые магнитометры.

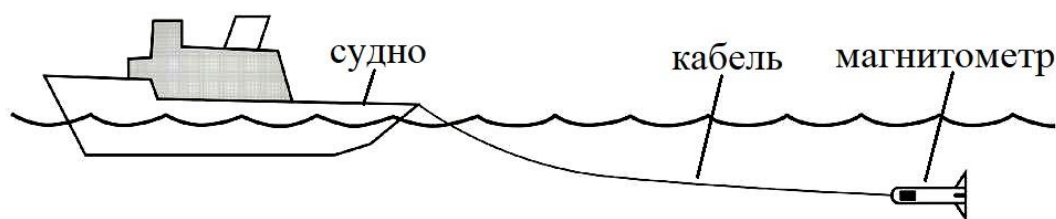


Рисунок 6. Магнитометр при магнитной съёмке под водой.

Измерения проводятся по системе параллельных профилей при площадных съёмках или реке по отдельным маршрутам, ориентированным вкост простирания геологических структур.

Магнитометр – неакустический прибор, поэтому с его помощью успешно осуществляется поиск подводных объектов в условиях низкой эффективности гидроакустической аппаратуры. Магнитометрия широко используется, когда рельеф дна

перекрывается донной флорой, содержит складки или сложен илистыми отложениями (Нербесов, 2017).

Глава 4. Геологические опасности в ходе инженерно-геологических изысканий исследуемого региона.

Прежде чем перейти к классификации опасных геологических процессов для территории российской Арктики, необходимо рассмотреть суть и роль геологических процессов, как экзогенных, так и эндогенных, вспомнить об их взаимосвязи.

Взаимосвязь геологических процессов эндогенного и экзогенного рядов в литературе освещена довольно полно, начиная с античных авторов, библейских текстов, заметок Н. Стенона (XVII век) и первых собственно геологических обобщений М. В. Ломоносова, А. Вернера, Ж. Кювье, А. Броньяра, У. Смита и Д. Геттона в конце XVIII века. Наличие этой связи глубоко, ёмко и лаконично было сформулировано ещё в 1802 году русским учёным К. Ф. Струве в названии его книги «Опыт физиогномии Земли как искусство заключать по поверхности Земли о её внутреннем строении», которая была, по существу, первым учебником геоморфологии.

Экзогенные геологические процессы способствуют уменьшению энергии и контрастности рельефа, нивелируют неровности земной поверхности. Как писал В. Д. Ломтадзе, «имея в целом направленный характер развития, экзогенные процессы действуют неравномерно: затухают, останавливаются, возобновляются, проявляются катастрофически, уничтожая и разрушая полезные площади, нарушая устойчивость местности и сооружений, постоянно угрожают деятельности и жизни людей (Ломтадзе, 1997).

Главным эффектом эндогенных процессов, который весьма превосходит по последствиям экзогенные, являются деформации земной поверхности и создание определённым образом поднятий и впадин различных рангов. Во всех случаях эти деформации нарушают ранее установившееся равновесное состояние среды и приводят в действие компенсирующие гравитационные и другие силы и процессы, направленные в конечном счёте, на выравнивание поверхности. В зависимости от величины уклонов, связанных с деформацией и от климатических условий устанавливается определённый комплекс экзогенных процессов денудационного и аккумулятивного рядов (Природные опасности России, 2002).

4.1. Классификация опасных геологических процессов для полярных морей России.

Автором выпускной квалификационной работы предложена следующая классификация, полученная методом переосмысления классификации С.А. Козлова для геологических опасностей на Западно-Арктическом шельфе (http://www.ogbus.ru/authors/Kozlov/Kozlov_2.pdf, дата обращения: 17.03.2019), с заимствованиями (Рыбалко, Локтев и др., 2017) и исправлениями:

Группа	Вид	Разновидность
I. Экзогенные		
Ледовые	Экзарационные	Айсберговое выпахивание, торошение, воздействие припайного льда, намерзание
Литодинамические- геоморфологические	Литодинамические (связанные с движением морских вод)	Перенос осадков, термоабразия, абразия и аккумуляция
	Гравитационные (связанные со склоновыми процессами)	Обвалы, осыпи, оползни, сплывы
	Субаквальный палеорельеф	Палеоврезы, затопленные террасы, захороненные бары
II. Эндогенные		
Геокриогенные и посткриогенные	Мерзлотные (связанные с реликтовым или современным промерзанием геологической среды)	Многолетнемерзлые породы, морозное пучение

Группа	Вид	Разновидность
	Постмерзлотные (проявляются после разрушения мерзлоты)	Осадка при протаивании, образование и скопление газа и газогидратов
Физико-химические и биохимические	Выделения биогенного приповерхностного газа (часто при деградации многолетнемерзлых пород)	Мелкозалегающий газ и газопроявления
	Выделение газа из глубинных скоплений углеводородов	Глубинный газ и газопроявления, газогидраты
Сейсмические	Землетрясения	Быстрые перемещения горных пород
	Субвертикальные движения земной коры	Медленные перемещения горных пород
	Последствие землетрясений с эпицентром под дном моря	Цунами

4.2. Характеристика опасных геологических процессов для полярных морей России.

4.2.1 Ледовые.

Ледовая эскаррация обусловлена механическим воздействием плавучих льдов, айсбергов и стамух на дно моря (Рисунок 7). В арктическом бассейне льды могут быть однолетними и многолетними, дрейфующими и припайными. Также в акваторию выносятся много пресного льда из крупных и мелких рек. Кроме того, здесь присутствуют относительно небольшие айсберги (преимущественно на Западно-Арктическом шельфе). Наименее ледовитыми считаются Баренцево и Чукотское моря благодаря воздействию теплых течений.

Мощность морского однолетнего льда может достигать 1,3-1,5 м и более. Многолетние льды могут иметь еще большую мощность. Скапливаясь у берегов, под воздействием течений и ветра, льды образуют ледовые поля, торосы, стамухи, навалы, которые и производят на морском дне ледовое выпахивание. Величина килей стамух может достигать 10 и даже 20 м (Печорское море, 2003). При этом глубина образуемых ледовых борозд будет зависеть от состава донных отложений, массы образований, глубины воды, но обычно не превышает 0,5 м; хотя может достигать и первых метров. Наиболее крупными образованиями являются так называемые стамухи – оторвавшиеся от ледяного плена остатки торосов. Посадка ледовых образований на дно не означает остановку движения, на них продолжают воздействовать течения, волнение и ветер (высота паруса стамух может составлять 10-15 м). То есть они способны достаточно долго существовать, перемещаться и передавать значительные статические и динамические нагрузки на донные конструкции и плавучие сооружения.

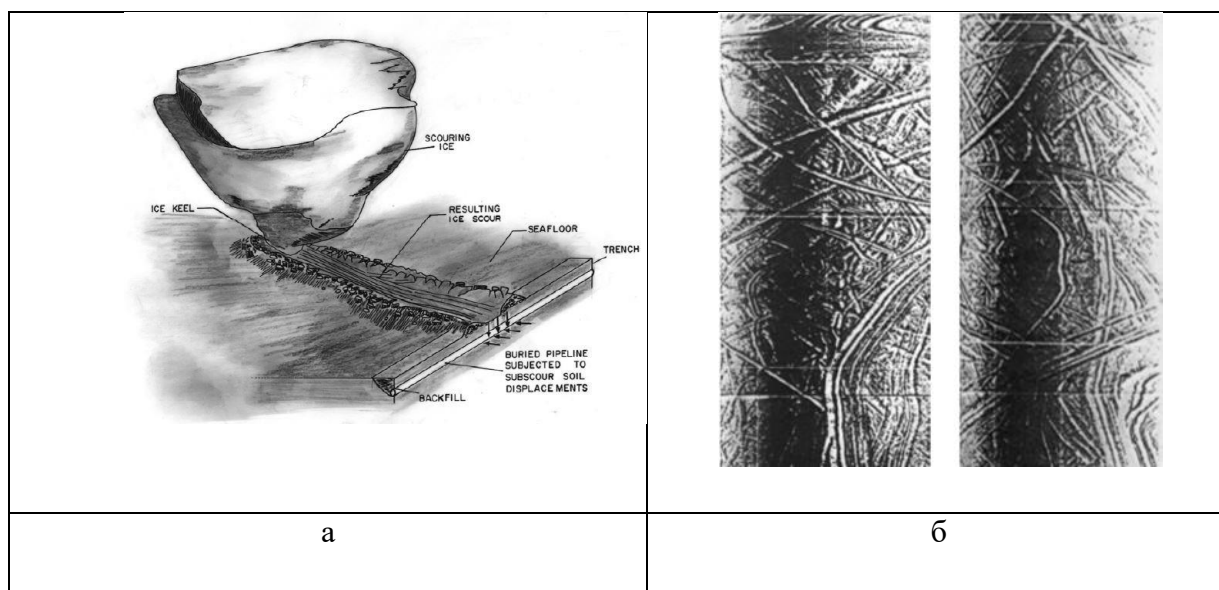
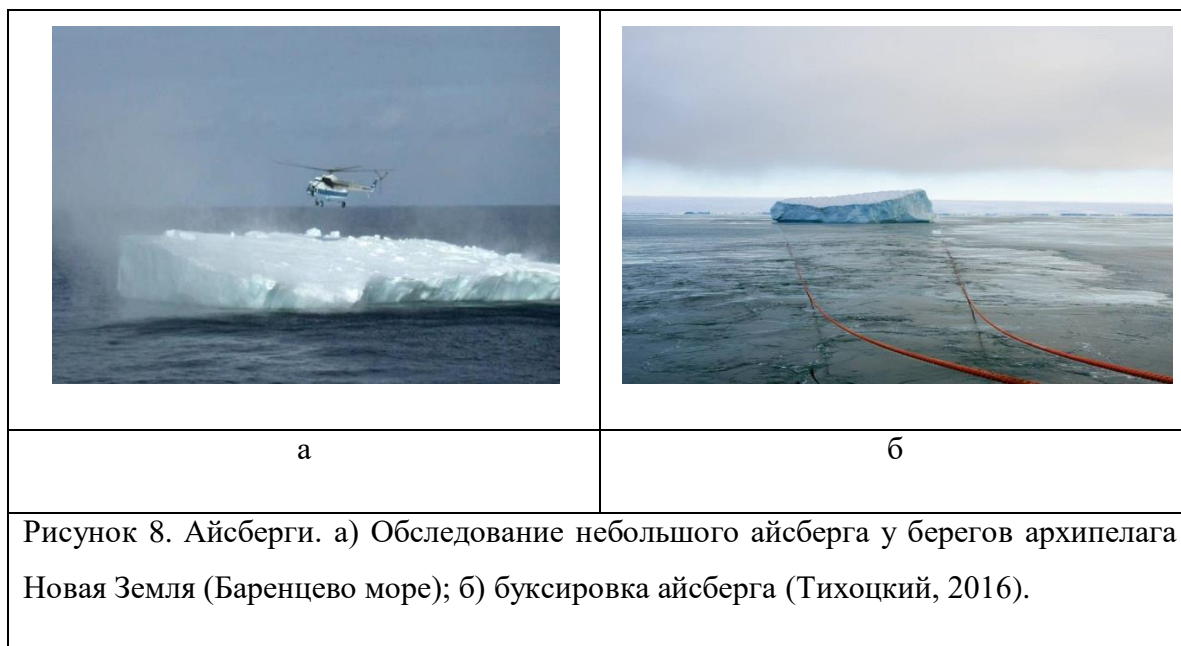


Рисунок 7. Ледовая экзарация: а) механизм воздействия ледовых образований на дно, б) фрагмент ГЛБО – результат деятельности килей стамух (Тихоцкий, 2016).

Воздействие айсбергов на морское дно происходит по тому же сценарию, но отличается гораздо большим размахом и, соответственно, нагрузками (Рисунок 8).



Опасность этого явления заключается в том, что в местах дрейфа айсбергов практически нельзя ставить плавучие нефтегазопромысловые сооружения. Это значит, что препятствовать навалу ледяной массы невозможно или требует высоких затрат. Очевидно, такая возможность зависит от остойчивости ледового образования и его размеров.

Процессы, связанные с поверхностным воздействием ледовых образований могут иметь широкое распространение в прибрежных и мелководных районах. Как отмечалось выше, в наиболее исследованном Печорском море, следы ледовой экзарации наблюдались на глубинах до 20 м (Печорское море, 2003). На Восточно-Арктическом шельфе также широко развиты узкие линейные углубления, которые интерпретируются как борозды ледового выпахивания (Рисунок 9). Борозды с обеих сторон, как правило, ограничены валами высотой до 1,5-2 м.

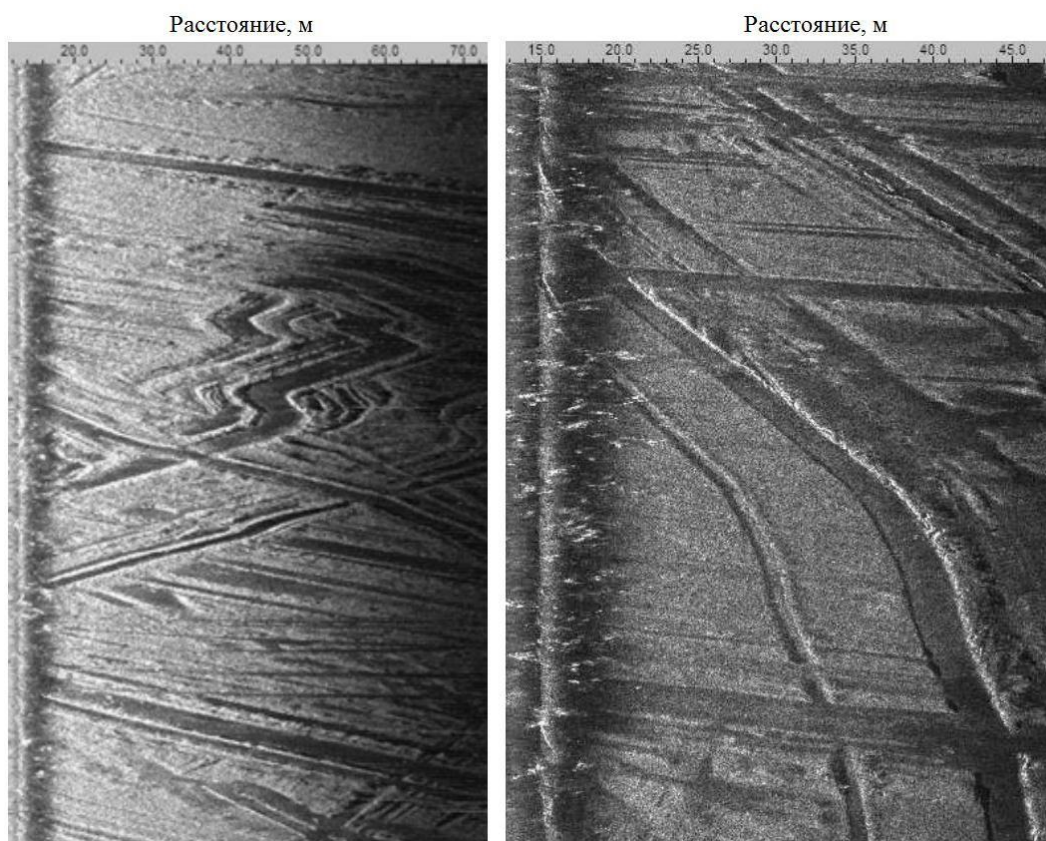


Рисунок 9. Сонограммы гидролокации бокового обзора, море Лаптевых (http://www.giab-online.ru/files/Data/2013/3/131-136_Dmitrevskiy_S%B93_-_6_str.pdf, дата обращения: 21.02.2019).

4.2.2 Литодинамические-геоморфологические.

Литодинамические процессы и явления обусловлены деятельностью перемещения больших масс осадка но во взвешенном или сальтирующем состоянии и под воздействием течений волнения. Виды выделены по главному фактору внешнего воздействия, которые вызывает перемещения. Это может быть как и энергия непрерывно движущейся воды, создающей волны и течения, или гравитационные силы, определяющиеся характером рельефа и вызывающие склоновые процессы. Формы субаквального палеорельефа представляют геоморфологические опасности.

Литодинамические процессы играют решающую роль в формировании современного осадочного покрова. В ряде случаев они начинают представлять реальную опасность для безопасности. Литодинамические опасные геологические процессы связаны с движением морских вод. Размыв, транспортировка и аккумуляция донных отложений наиболее интенсивно проявляются в прибрежной и мелководной части морей, где эти процессы наиболее активны. Поверхностные волны, обусловленные ветром, также

оказывают влияние на разрушение, перенос и осаждение осадков. Последние, кроме этого, могут быть опасными для плавучих и полупогруженных гидротехнических сооружений. Важное значение литодинамических процессов заключается в их участии в перераспределении донных отложений. А это может вызвать осадку сооружений, имеющих основание на морском дне, или занос трубопроводов, коммуникаций, локальных донных объектов или изменение общей морфологии дна. Так на плавучем буровом комплексе (ПБК) Обский в Карском море в начале 2000-ых произошел вымыв песка из-под основания, что способствовало крену и деформации некачественно изготовленного корпуса и, как следствие, аварийной остановке глубокой скважины (Тихоцкий, 2016).

Ведущим литодинамическим фактором, вне береговой зоны, являются течения, причём с точки зрения литодинамики наносов, ведущую роль среди различных течений играют приливо-отливные течения, которые охватывают всю толщу воды.

Очевидно, что размыв дна и перемещение наносов должны сопровождаться перебивом придонного слоя осадков. При перебиве происходит вынос тонких пылеватых частиц и формируются грубые песчано-крупнообломочные образования. В соответствии с этим можно предположить, что области развития песчаных и крупнообломочных образований, обозначенные на навигационных картах и на картах литологии поверхности дна, соответствуют зонам возможного размыва и перемещения наносов.

Процесс размыва сводится к выносу мелкозема и формированию более грубых по гранулометрическому составу "реликтовых" осадочных образований, которые по современной генетической классификации относятся к подводному перлювию. Обычно эти отложения хорошо выделяются по таким признакам, как низкая сортировка, наличие бурых гидроокислов железа на минеральных зернах, наличие грубообломочного материала и конкреций. Однако, крайняя фрагментарность пробоотбора, мелкий масштаб и кондиционность имеющихся картографических материалов не позволяет с достаточной полнотой и детальностью выделить все реальные зоны размыва и, тем более, связать их с определенными гидродинамическими процессами (Методическое пособие по составлению мелкомасштабных карт четвертичных образований к Госгеолкарте-1000, 2005).

Разрушение берегов (абразия) проявляется в настоящее время практически на всех морях России.

Таблица 1. Поражённость и среднеголетняя интенсивность переработки береговых морей России (Природные опасности России, 2002).

Прибрежная административная система	Протяжённость		Поражённость переработкой, %	Интенсивность га/год
	Береговой линии, км	Разрушаемых берегов, км		
Мурманская обл.	1730	220	13	0,4
Р. Карелия	600	-	-	-
Архангельская обл.:	12030	6750	56	2,5
Беломорские берега	1120	610	54	
Ненецкий авт. округ	3180	1554	49	
о-ва Новая Земля	4320	1914	37	
о-ва Франца Иосифа	3410	2972	87	
Тюменская обл., Ямало-Ненецкий авт. округ	5570	1725	31	6,2
Красноярский край	9510	2570	27	2,2
Якутия:	7840	2930	37	11,7
материковое побережье	5420	1620	30	
Ляховские о-ва	560	432	77	
Новосибирские о-ва	1860	878	47	
Магаданская обл., Чукотский авт. округ	2660	992	37	3,7
Всего по Арктическим морям	39940	15187	38	4,7

Исходя из данных Таблицы 1, наибольшая поражённость рассматриваемым процессом на окраинных морях характерна для островных побережий Земли Франца-Иосифа, расположенной в Баренцевом море. Чуть меньшая интенсивность наблюдается у Ляховских островов, разделяющих море Лаптевых и Восточно-Сибирское море. Менее всего абразивным процессам подвержены берега Мурманской области.

Как отдельный вид абразии следует выделить термоабразию (Рисунок 10), связанную, в частности, с положением как на шельфе, так и вдоль южного побережья вблизи поверхности высокольдистых едомных образований, содержащих в своем составе полигонально-жильные льды. Это делает такие участки крайне подверженными термокарсту.



Рисунок 10. Термоабразия. Карское море, Байдарацкая губа, Уральский берег (http://esimo.oceanography.ru/esp2/index/index/esp_id/8/section_id/4699, дата обращения: 26.02.2019).

Значительная часть опасных геологических процессов тесно связана с проявлением широкого спектра склоновых процессов. Особенности их развития, в свою очередь, обусловлены спецификой рельефа. Рельеф – одно из основных (наряду с климатическими) условий, определяющих особенности развития данных процессов. Опасности, создающиеся при возникновении и развитии оползней, зависят от рода особенностей возможных оползневых смещений, которые в свою очередь определяются состоянием геологической среды, а также характером и величиной техногенного воздействия на неё. Помимо оползней выделяют также обвалы и осыпи.

Вследствие наличия воды, донные осадки обладают гораздо меньшей устойчивостью по сравнению с континентальными образованиями. Так оползание донных осадков, как и формирование оползней, начинается с углов склона в 2-3°. При этом рельеф Баренцево-Карского шельфа достаточно расчлененный, особенно вблизи архипелагов Новая Земля и Земля Франца-Иосифа, не говоря уже о таких мегаморфоструктурах как краевые желоба (Франца Виктории, Святой Анны и Воронина) и Восточно-Новоземельский желоб (Щербаков и др., 2018).

Восточно-Арктический шельф гораздо более плоский. Но отдельные желоба (Например, Геральда в Чукотском море), а также островные шельфы вокруг Новосибирских островов и о-ва Врангеля также имеют уклоны в несколько градусов. Кроме того, в Чукотском море край шельфа имеет ступенчатый характер и его край прорезан серией ложбин. Таким образом, предпосылки для возникновения гравитационных процессов на арктическом шельфе существуют, и достаточно основательные. Активное развитие оползневых процессов было зафиксировано в Белом море. В море Лаптевых известны выходы мерзлых пород, известных в этом районе под названием «едомных отложений». Местами они расположены выше базиса волнения. По имеющимся данным, в результате частичного растепления они теряют свою устойчивость и начинают оползать вниз по склону – возникает явление близкое по смыслу к солифлюкции, но существенно отличающееся от ее классического представления (Щербаков и др., 2018).

Реликтовая морфоскульптура дна зачастую осложняет условия, а в некоторых случаях препятствует строительству морских объектов. Предполагается, что морфология кровли многолетнемерзлых пород в арктических морях осложнена реликтовыми формами микро- и мезорельефа. К ним можно отнести: затопленные террасы, палеоврезы, булгуньяхи, термокарстовые и аласные котловины, полигональный микрорельеф, останцы ледовых комплексов, захороненные бары. Анализ публикаций показал, что успех выявления указанных форм в значительной степени определяется выбором соответствующей технологии геофизических исследований и густоты сети сейсмоакустических профилей, а также подтверждением геофизических данных результатами бурения.

Наиболее интересны в своём строении палеоврезы (в том числе палеодолины). Они заполнены слабоконсолированными, часто газонасыщенным, осадками с включением

крупнообломочного материала. Особенность палеоврезов заключается в специфическом криогенном режиме, отличном от вмещающих отложений. Грунты, заполняющие и подстилающие врезы, относительно быстро протаивали в субэаральных и мелководных условиях. В дальнейшем, при субаквальном промерзании палеоврезов, к ним могут быть приурочены линзы мёрзлых и пластичномёрзлых грунтов. Подтверждением этого служит положительная скоростная аномалия, приуроченная к палеоврезу (Колюбакин и др., 2016).

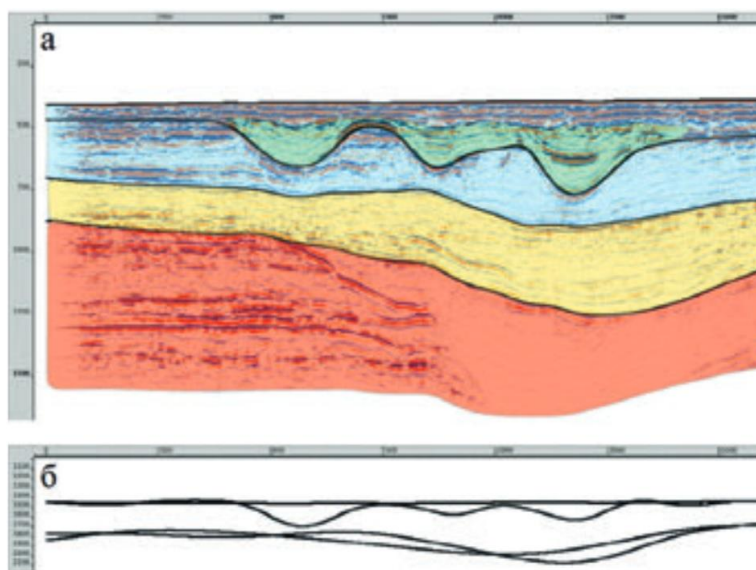


Рисунок 11. Пример выявления положительной скоростной аномалии, приуроченной к палеоврезу: а – разрез, полученный методом сейсмической съёмки высокого разрешения (СВР) (вертикальная ось – глубина, м; горизонтальная ось – расстояние, м), цветовая шкала – скорость продольных волн, м/с; б – глубинно-скоростная модель разреза (вертикальная ось – скорость продольных волн, м/с; горизонтальная ось – расстояние, м) (Колюбакин и др., 2016).

4.2.3 Геокриогенные и посткриогенные.

В арктической зоне Северного полушария многолетнемёрзлые породы являются составной частью криолитозоны. Так как именно арктический шельф в настоящее время в РФ является приоритетным районом для развития шельфового нефтегазового комплекса на современном этапе, то и такое явление как погребенная мерзлота, как реликтовая, так и, по мнению многих исследователей, вновь образованная имеют первостепенное значение при обосновании проектов, связанных с нефтегазодобычей. Данные о распространении и характере подземной мерзлоты на шельфах чрезвычайно важны для

оценки опасных инженерно-геологических процессов, связанных как собственно с деградацией криолитозоны, так и с приуроченными к ней скоплениями свободного газа (газовые карманы) и газовых гидратов криогенного генезиса.

Субмаринная криолитозона рассматривается на современном этапе как часть субмаринной литосферы в пределах пояса отрицательных температур. Она включает толщи многолетнемерзлых и охлажденных ниже 0 °С пород, образование и существование которых связано с климатическими и гляциоэвстатическими циклами. По своему физическому состоянию криолитозона может быть мерзлой (льдосодержащей) и немерзлой, представленной отрицательно-температурными минерализованными водами (криопэгами). Существование субмаринной криолитозоны определяется главным образом двумя факторами: отрицательной температурой придонных слоев воды (современные условия) и глубоким промерзанием на субаэральных этапах развития шельфа (палеоусловия) (Соловьёв, 1988).

Рост температуры мерзлых грунтов и уменьшение их несущей способности может приводить к повреждениям и разрушениям объектов инфраструктуры. В ходе деградации криолитозоны могут усиливаться оползневые процессы на оттаивающих склонах, медленное течение талого грунта (солифлюкция), просадки поверхности грунта и его вынос тальми водами (термокарст). В криолитозоне возможно также образование опасных для изменения субаквального рельефа льдогрунтовых бугров пучения (пинго или булгунняхов). Их образование в субмаринной обстановке часто связывают с разложением подмерзлотных газовых гидратов и созданием аномально высоких давлений за счет выделившегося из гидратов газа и пресной воды.

В настоящее время мерзлые грунты были вскрыты бурением на многочисленных полигонах, расположенных в основном в прибрежной зоне на удалении до 12 км и более от уреза воды (Григорьев, 2008; Григорьев, 2011; Разумов и др., 2014). На прибрежных буровых профилях наблюдается погружение кровли мерзлой толщи по мере удаления от берега и увеличения глубины моря, происходящее с большей или меньшей интенсивностью. Это говорит, очевидно, о том, что данные отложения ранее находились в мерзлом состоянии, а затем протаяли.

Важным аспектом рассматриваемой проблемы является возможность субаквального промерзания придонных отложений при благоприятном соотношении

степени минерализации порового флюида, литологии и температуры придонной воды и грунта (Шполянская, 2011; Шполянская, 2005). По данным Н.А. Шполянской при существующих в настоящее время условиях на арктическом шельфе субаквальное промерзание может идти в интервале глубин 4-12 м от дна, а грунты, промерзшие таким способом могут быть распространены на глубинах не более 40-50 м ниже дна. Кроме того, необходимо отметить возможность дополнительного охлаждения грунтов верхней части разреза в местах струйной вертикальной миграции газа вследствие его расширения, происходящего с поглощением тепла, что было установлено на шельфе Баренцева и Карского морей (Мельников, Спесивцев, 1995). В восточной Арктике до сих пор это явление не описано, но учитывая, что вдоль Хатангского залива проходит зона глубинного разлома, вполне можно ожидать подобное явление. Упомянутые выше авторы считали, что такого охлаждения может быть достаточно для перевода многолетнеохлажденных грунтов в твердо-мерзлое или пластично-мерзлое состояние.

4.2.4 Физико-химические и биохимические.

Данная группа процессов обусловлена содержанием газов и биогенных веществ в донных отложениях. Виды выделены в зависимости от характера процесса.

Газы в донных отложениях привлекли внимание исследователей сразу как начались геологоразведочные работы, связанные с выявлением объектов для будущей нефтегазовой отрасли в конце 80-х, 90-х годов прошлого века. Первые работы, связанные с геологическим пробоотбором и поисковым бурением выявили обширную загазованность донных отложений, а сейсмоакустическое профилирование показало широкое их пространственное распространение. Причем в случае использования высокочастотных профилографов в ряде случаев полезная запись была практически полностью блокирована. При этом выяснилось, что газонасыщенность осадков существенно изменяет их физические свойства. Песчаные грунты приобретают пльвунные свойства, при этом активизируются гравитационные процессы, усиливается их склонность к разжижению, повышается химическая агрессивность и способность к коррозионному воздействию на металл. Особое внимание привлекают процессы дегазации, которые характеризуются неопределенностью момента возникновения и интенсивностью проявления. Учитывая тяжесть последствий, в настоящее время газовые выделения относят к категории опасных геологических процессов, способных вызвать бедствие на акватории, а участки морского

дна со следами газопроявлений – к геологически опасным территориям III-й категории сложности (Миронюк, Отто, 2014).

Большой объем сейсмоакустических работ, выполненных в последние годы с целью проведения поисковых и инженерно-геологических работ на арктических шельфах, показали, что в пределах мелководного арктического шельфа при глубинах моря менее 100 м газосодержащие осадки развиты весьма широко. Газ в этих осадках представлен в основном биогенным метаном с незначительной примесью CO₂, H₂S и др. Данные сейсмоакустических исследований были подтверждены наблюдениями в кернах грунтовых колонок и инженерно-геологических скважин. В осадках нахождение газа определяется по следующим признакам: пузырение поверхности керна, самопроизвольное набухание керновых образцов, фонтанные выбросы газо-водяной смеси и пр. Особенно часто проявление газов фиксируется в донных осадках, где насыщение отложений верхней части разреза свободным газом произошло в результате таяния мерзлых толщ в ходе трансгрессии современного бассейна (Рокос, 2008)

Возникает следующая схема насыщения газом осадков:

- сформированная при регрессии мерзлая толща мерзлых грунтов выступает как крышка, которая препятствует естественной вертикальной миграции биогенного и термokatалитического газа из глубины вверх по разрезу;
- достигнув подошвы мерзлой толщи этот газ, не имея возможности к дальнейшей эмиссии, накапливался под ней в достаточно больших количествах;
- после деградации мерзлой толщи, которая вероятно протекала довольно быстро, скопившийся под ее подошвой газ перераспределился по разрезу вышележащих протаявших осадков.

Сами процессы разложения органического вещества и, соответственно, выделение биогенного газа в период существования мерзлых толщ, были почти полностью подавлены. При протаивании этих толщ в трансгрессивный цикл температура в ранее промерзших осадках становилась положительной и процессы разложения погребенной органики резко активизировались. Это также привело к интенсивному выделению биогенного газа. Распределение его определялось коллекторскими свойствами отложений. Пески, обладающие открытой эффективной пористостью, выступили при этом как коллекторы. Глинистые образования при этом играли роль крышек.

Большая часть газов, содержащихся в донных осадках арктических морей, представлена преимущественно метаном. При этом, газовые концентрации, по-видимому, весьма значительны, о чем говорит перенасыщенность метаном придонных слоев морской воды (<http://www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=0e8cedcef45f-4645-ab67>, дата обращения: 09.03.2019). По составу это – сухой метан, преимущественно биогенного происхождения. Примеси тяжелых углеводородов в нем весьма незначительны. Предполагается, что в глинистых отложениях он присутствует в основном в диспергированном виде. Давлений, существенно превышающих гидростатическое, этот газ создавать не может.

В песчаных образованиях газ может образовывать сосредоточенные скопления в своеобразных «мини-ловушках» (Рисунок 12), которые приурочены к положительным изгибам толщи перекрывающих глин и/или многолетнемерзлых льдистых грунтов, а также к локальным песчаным линзам в толще мерзлых и/или относительно консолидированных глинистых образований (Шахова, Семилетов, 2014; Бондарев и др., 1999; Рокос, 2013). Газ, содержащийся в мини-ловушках, напротив, создает в ряде случаев давления, значительно превосходящие гидростатическое. При вскрытии таких ловушек скважинами отмечаются выбросы газа и открытое фонтанирование.

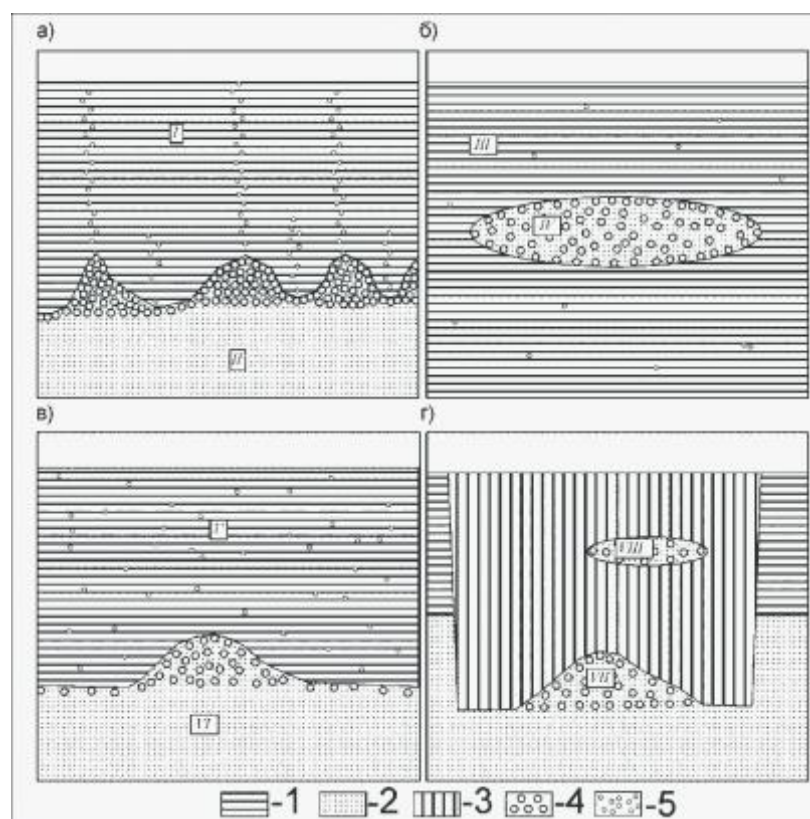


Рисунок 12. Схематичные модели сосредоточенных приповерхностных газовых скоплений, потенциально опасных с точки зрения наличия в них аномально высокого пластового давления (АВПД), в различных типах осадочных толщ (Рокос, 2013). а) газовые скопления в ермаковско-калининских песках, перекрытых каргинско-ленинградскими глинами; б) в локальных песчаных линзах в толще относительно консолидированных казанцевско-микулинских глин и суглинков; в) в древнеголоценовых аллювиальных песках, перекрытых голоценовыми аллювиально-морскими илами; г) подмерзлотные и межмерзлотные сосредоточенные газовые скопления.

1 – глины и суглинки, 2 – пески, 3 – многолетнемерзлые льдистые грунты, 4 – сосредоточенные газовые скопления, 5 – диспергированный газ. I – ленинградско-каргинские глины, II – ермаковско-калининские пески, III – казанцевские глины и суглинки, IV – внутренние песчаные линзы, V – голоценовые глинистые аллювиально-морские осадки, VI – древнеголоценовые аллювиальные пески, VII – подмерзлотные газовые скопления, VIII – межмерзлотные газовые скопления, приуроченные к пористым линзам преимущественно песчаного состава.

Величина избыточного пластового давления (относительного пластового давления) в значительной мере определяется плотностью отложений покрывки. В настоящее время выбросы газа отмечены в ряде инженерно-геологических скважин только в Печорском и Карском морях. Эти выбросы происходили с горизонтов от 10 до 70 м ниже поверхности дна на участках, где развиты реликтовые многолетнемерзлые льдистые отложения. Вероятно, здесь зоны АВПД приурочены к сосредоточенным скоплениям газа в линзах талых проницаемых песчаных отложений внутри мерзлой толщи (межмерзлотные газовые скопления) или к положительным структурам кровли под мерзлотных талых образований, обладающих соответствующей пористостью (подмерзлотные газовые скопления). Наиболее высокие давления возникают в случае присутствия мерзлых пород, так как они обладают значительно более высокой прочностью и меньшей проницаемостью по сравнению с их талыми аналогами. Высоты фонтанов газо-водяной смеси, возникавших при вскрытии под мерзлотных или межмерзлотных АВПД достигали 10 м и более.

Формы, связанные с выбросом газофлюидов, были установлены и на шельфе моря Лаптевых, где они образуют положительные формы рельефа, называемые подводные булгуньяхи (pingo) (Romanovskii et.al., 1988).



Рисунок 13. Диapiroподобные поднятия на временном сейсмоакустическом разрезе, полученном профилографом Parasound, море Лаптевых, около северо-северо-западной границы Усть-Оленекского участка. По работе (Romanovskii et.al., 1988) с изменениями.

По данным инженерно-геологических исследований МГУ на объектах ОАО «Роснефть» газонасыщенные отложения проявляются на временных разрезах чаще всего в виде резкого увеличения амплитуд отражений отрицательной (обратной по отношению к донному отражению) полярности, вызванного возрастанием коэффициента отражения. Кроме того, могут наблюдаться эффекты частичного или полного экранирования газонасыщенными интервалами нижележащей части разреза, участки сильно нарушенной и хаотической волновой картины, потери высокочастотных составляющих спектра отраженного сигнала, запаздывание регистрации отражений от нижележащих границ.

Наиболее опасными следует считать амплитудные аномалии типа «яркое пятно», сопровождающиеся эффектом экранирования разреза и снижения частоты отражений. Согласно (Judd et.al., 1994) для образования амплитудной аномалии достаточно содержания газа от долей процента до первых процентов от объема порового пространства. Поэтому выявленные близповерхностные амплитудные аномалии не должны представлять серьезной опасности со стороны возможности выброса газа. Тем не менее, даже незначительного количества газа в осадках может оказаться достаточно для ухудшения инженерно-физических характеристик грунта и потери его несущей способности под нагрузкой. Дополнительным признаком аномального газонасыщения

разреза являются газопроявления на морском дне. Это так называемые, пок-марки – кратерообразные понижения в рельефе дна, фиксирующиеся как по данным сейсмоакустического профилирования, так и по данным гидролокации и эхолотирования. В настоящее время им посвящена многочисленная литература и они обнаруживаются в самых различных условиях и на разных морях.

4.2.5 Сейсмические.

Группа сейсмических опасных геологических процессов обусловлена глубинными перемещениями горных пород. Источник сейсмической активности на нашей планете – внутренняя энергия Земли. Виды опасностей выделены в зависимости от характера и степени проявления данных процессов, выражаемой в скорости перемещения горных пород в земной коре.

Геологическую опасность сейсмического характера представляют землетрясения. Как можно заметить из предложенной классификации, *землетрясения* сопровождаются быстрым перемещением горных пород. На приведённой карте обозначены эпицентры землетрясений, которые в большинстве зафиксированы с 70-х годов, поскольку именно с этого времени сеть станций в арктической зоне стала достаточно развитой, а погрешность обнаружения эпицентров не превышала 40 км.

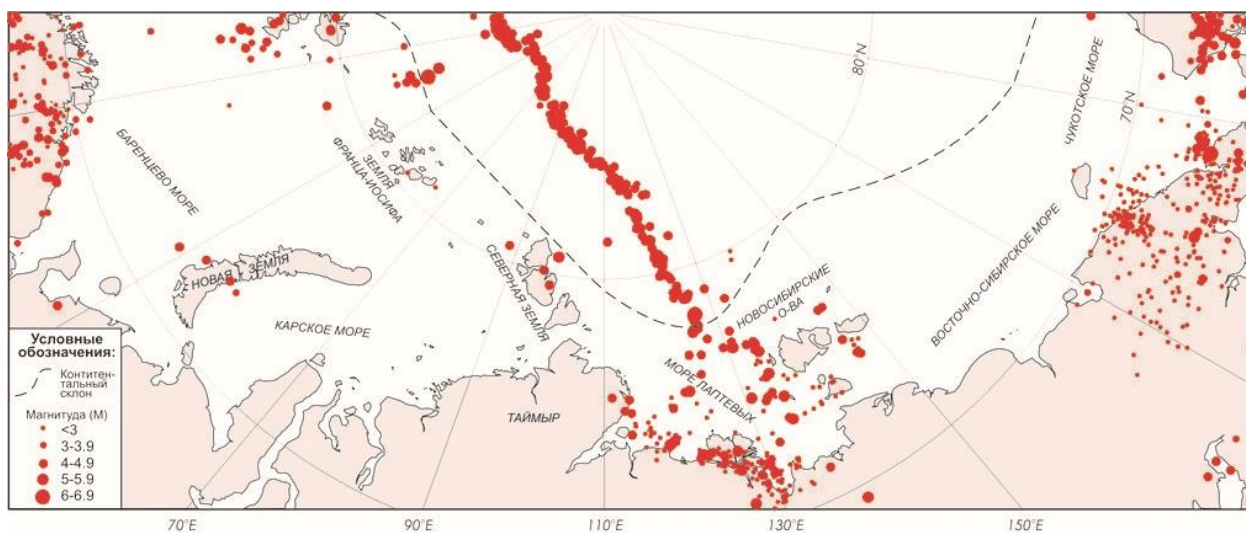


Рисунок 14. Эпицентры землетрясений арктической материковой окраины России (Арктические моря, 2004).

Сейсмоактивная зона от шельфа моря Лаптевых до берегов Исландии является участком масштабного пояса срединноокеанических хребтов, соответствующего дивергентным границам литосферных плит. В глубоководной части Северного Ледовитого океана зона приходится на гребень подводного хребта Гаккеля, по которому проходит граница между Евразийской и Североамериканской литосферными плитами. Срединно-Арктический пояс является единственной в арктическом регионе областью современной межплитовой сейсмичности. Все остальные относительно многочисленные здесь сейсмоактивные участки не коррелируют с какими-либо межплитовыми границами. Примеры таких зон – Фенноскандия, архипелаг Шпицберген, море Лаптевых, море Баффина и Баффинова Земля, острова Королевы Елизаветы, Берингов пролив и др.

В соответствии с этим, акваториями, в которых преобладает сейсмичность, являются акватории морей Баренцева, Чукотского и Лаптевых. Наиболее яркими проявлениями сейсмичности обладает море Лаптевых, которое расположено в зоне рифтогенеза. Особняком на арктическом шельфе является прилегающая к устью реки Лены часть моря Лаптевых, которая непосредственно смыкается в Северном Ледовитом океане с хребтом Гаккеля, т. е. с областью современного рифта. Следствием этого выступают активные в настоящее время разломы и большое количество выявленных эпицентров землетрясений силой до 6-7 баллов. Водоём, отличающийся повышенной сейсмической активностью, хоть и остающийся в этом контексте менее изученным – Чукотское море. Эпицентры землетрясений расположены на юге, юго-востоке и Чукотке. Однако, необходимо понимать, что телесеismicкая сеть фиксирует только самые сильные колебания. Сейсмичность Чукотского моря имеет внутриплитный характер. Участок Северо-Американской литосферной плиты расположен здесь между дивергентной (с запада) и конвергентной (с востока) границами, что обуславливает формирование сложного поля напряжений. Для района Баренцева моря характерна слабая сейсмическая активность, но внутри него также выделяются зоны с высокой активностью. Неравномерное расположение эпицентров приурочено к окраинным участкам акватории. Внутри границ баренцевоморской акватории к таковым относится архипелаг Шпицберген и прилегающая часть моря, а также участки повышенной сейсмичности в окраинно-шельфовых желобах, особенно в желобе Франц-Виктория. Пониженная сейсмичность характерна для Мурман-Финмаркенской зоны, являющейся сочленённой областью двух структур – Баренцевоморской плиты и Балтийского кристаллического щита (Арктические моря, 2004).

От Верхоянского хребта полоса эпицентров землетрясений тянется к северо-западу, проходит через группы островов полярных морей и достигает Шпицбергена и Исландии (Овчинникова и др., 2007). Наибольшая концентрация характерна для зоны подводного хребта Гаккеля (Куликов и др., 2016). Самые сильные значения магнитуды имеют $M=6-7$ (Магрицкий, 2013). Одним из факторов внутриплитной сейсмичности является разрядка напряжений, генерируемых на границах плит, в ослабленных зонах литосферы. К ослабленным зонам относятся зоны разломов, континентальные подножья, области сочленения океанической и континентальной литосферы.

Таким образом, в российском секторе Арктики встречаются все типы сейсмоактивных зон, то есть, как межплитные, так и внутриплитные. Сейсмоактивность моря Лаптевых относится к первому типу, а ко второму типу следует относить зоны повышенной сейсмичности континентального склона, в пределах которого расположены акватории Чукотского и Баренцева морей. Необходимо добавить, что основной причиной сейсмичности последних двух морей является частичная разрядка в ослабленных зонах напряжений, которые накапливаются в межплитных зонах.

4.2.6 Субвертикальные движения земной коры.

Большой опасности данный вид геологической опасности не представляет. Однако, медленные перемещения горных пород существенно определяют интенсивность другого опасного геологического процесса – абразии.

4.2.7 Цунами.

Цунами в акваториях арктических морей является недостаточно изученным вопросом. Чтобы корректно давать статистическую оценку для динамики данного процесса, необходимо иметь многолетние наблюдения. Однако, они сопровождаются сложностью осуществления, поскольку арктический регион малонаселён и имеет суровые климатические условия. Предлагаемое авторами статьи (Куликов и др., 2016) средство получения данных оценок опасности возникновения цунами в российском секторе Арктики является численное сценарное моделирование.

Как известно, за цунами принимаются катастрофические океанские волны, имеющие период от 1-2 мин до 2-3 ч и масштабе в пространстве от нескольких сотен метров до нескольких сотен километров. Волны цунами образуются за счёт достаточно

быстрого вытеснения водных масс из-за сеймотектонических колебаний, гравитационных процессов (обвалы и оползни), а также донных извержений. Зачастую сложно выявить процесс, являющийся основополагающей причиной цунами, а иногда – стратифицировать данные процессы в силу их одновременного воздействия (Куликов и др., 2016).

Опасность цунами в Арктике не считается значительной и не представляет серьёзной угрозы, что можно объяснить низкой сейсмической активностью. Также необходимо учитывать тот факт, что регион является малозаселённым, а сеть высокочастотных наблюдений за уровнем моря отсутствует (Куликов и др., 2016). Эти факторы не дают возможность быть осведомлённым о проявлении цунами на побережье арктических морей. Сейчас актуальность данных исследований возросла, поскольку арктический шельф экономически осваивается.

В рамках исторического обзора проблемы было выяснено, что похожие на цунами явления неоднократно наблюдались на арктическом побережье не так уж давно. Например, в работе (Подгорная, 2005) упоминается об «ужасном событии», случившемся в 1888 г. в селе Кашкаранцы (Мурманская область) на побережье Белого моря. Заплеск волны достигнул высоты в несколько метров. В Кашкаранцах было уничтожено 6 из 25-30 домов, снесено 27 амбаров с припасами, 11 бань и потеряно 40 малых судов. Согласно данной работе, волна цунами, обрушившаяся на Кашкаранцы в 1888 г., была возбуждена подводным оползнем, который, вероятно, был вызван землетрясением. В работе А. А. Никонов добавляет, что волны цунами в Белом море фиксировались не один раз: в 1627, 1635, 1888 и 1967 гг. В частности, в мае 1967 г. в западной части Кандалакшского залива произошло землетрясение магнитудой 4,1 ($\pm 0,2$), которое сопровождалось значительным цунами.

Опираясь на уже изложенный выше материал в описании опасных геологических процессов, в российском секторе Арктики и зоне шельфа наибольшую опасность возникновения цунами сеймотектонического генезиса представляют последствия землетрясений, возникающих в зоне подводного хребта Гаккеля. Хребет является восточной частью Срединно-Арктического пояса. Установлено, что в этой зоне возможно возникновение землетрясений магнитудой 6,5-7,0 и 7,5. Последствия землетрясений с эпицентром под дном моря в районе хребта Гаккеля могут проявляться на арктических побережьях России (Куликов и др., 2016).

Кроме того, опасность цунами исходит также и от редких землетрясений, очаги которых расположены под континентальным склоном глубоководной впадины Северного Ледовитого океана и под подножием континента. Это объясняется высокой вероятностью здесь схода подводных оползней в результате землетрясения, которые могут многократно усиливать возникновение цунами сеймотектонического происхождения. Наиболее достоверные сведения о проявлении цунами в Арктике связаны с обнаруженным геологами подводным оползнем Сторегга, расположенным на континентальном склоне Норвежского моря и образовавшимся 8200 лет назад. Следы отложений, оставленных волнами цунами на побережье, показывают, что максимальный вертикальный заплеск цунами мог достигать 20 м. Следовательно, в арктическом регионе генерация волн цунами, вызванная сходом подводных оползней вполне вероятна. Фактором, который провоцирует образование данных оползней, могут являться седиментационные процессы, связанные с образованием конусов выноса великих сибирских рек, таких как Оби, Енисея и Лены (Куликов и др., 2016).

Глава 5. Районирование полярных морей России по характеру проявления геологических опасностей.

Чтобы осуществить районирование исследуемого региона необходимо рассматривать все максимально опасные экзогенные и эндогенные геологические процессы, учитывая проявляемую интенсивность. Последняя характеризуется степенью поражённости акватории или суши данными процессами.

Распространение тех или иных опасных геологических процессов напрямую зависит от климатических факторов и геологического субстрата территории. Большинство геологических опасностей являются зональными. К примеру, довольно важное значение имеет криолитологическая обстановка. Так, многолетнемерзлые породы занимают более 60% территории России (в Сибири – 80%) (Застрожнов и др., 2005), с чем связано широкое распространение и многообразие опасных геокриологических процессов. Азональность связана с эндогенным происхождением, морфоструктурными элементами, литологией. Азональные процессы имеют эндогенную природу, а также обусловлены морфоструктурными составляющими и вещественно-генетическим распределением пород.

На земной поверхности может главенствовать не единственный геологический процесс, а комплекс сразу нескольких. Они могут относиться как к одной, так и нескольким группам в приведённой классификации. Также следует отметить, что проявление одного геологического процесса может приводить к появлению других, образуя цепочку медленно или быстро текущих процессов. Простым примером этого служит образование оползней после землетрясения.

На геологический субстрат воздействуют как атмосферные составляющие в прибрежных зонах, так и гидросферные в зонах шельфа. Гидродинамическое воздействие является самым активным и повсеместным, поскольку определяет природу процессов литодинамики (Застрожнов и др., 2005).

В соответствии с (Застрожнов и др., 2005), по созданию карт геологических опасностей принята шкала для оценки территории в отношении проявленных опасных геологических процессов. Выделяются следующие площади:

– условно неопасные;

- малоопасные;
- опасные;
- высокоопасные.

Им соответствуют индексы от I до IV. Все вышеперечисленные территории отображаются цветной заливкой следующих цветов соответственно:

- зеленой;
- желтой;
- бежевой;
- коричневатато-красной.

В рамках районирования полярных морей по геологическим опасностям интересуют площади районирования последних трёх групп (малоопасные, опасные и высокоопасные), поскольку опасные геологические процессы представляют на данных территориях потенциальную опасность.

Первая группа включает такие процессы с длительным и постепенным развитием, как морозобойное растрескивание, криогенное пучение, экзарационные процессы, которые причиняют социально-экономический ущерб, например, разным типам трубопроводов и при проведении строительных и промышленных работ.

Ко второй группе следует отнести те процессы, которые протекают наиболее активно – перенос осадков, термоабразию, оползни, осыпи, часто вызывающие уже чрезвычайные ситуации. Тем не менее, в зоне их потенциального развития возможны строительные работы, эксплуатация инженерных сооружений, нахождение человека при проведении защитных мероприятий, предохраняющих от негативного воздействия данных процессов.

Для третьей группы характерны процессы, приводящие из-за своей внезапного наступления и губительного действия к катастрофическим последствиям. Ими могут быть обвалы, оползни, обвалы ледников, землетрясения, затопление, зачастую сопровождаемые многочисленными человеческими жертвами.

Однако, необходимо понимать, что любой процесс может быть отнесён к нескольким классификационным группам в связи с кропотливой оценкой негативного влияния геологических процессов, которая требует учёт разных временных и пространственных факторов их распространения. В соответствии с мировой статистикой, территории, попавшие под воздействие землетрясений, несут самый значительный материальный ущерб. Участки суши или акваторий, имеющие магнитуды потенциальных землетрясений более 7 относят к высокоопасным, а с магнитудами от 5-6 до 7 – к опасным (Застрожных и др., 2005).

Учитывая то, что магнитуды землетрясений выше 7 баллов отсутствуют, выделить высокоопасные площади исследуемого региона не представляется возможным. В конечном счете, мы будем иметь только малоопасные и опасные площади. Поэтому целесообразно рассмотреть интенсивность процессов и создавать картосхему районирования уже именно по интенсивности проявления.

При построении картосхемы факторами, по которым будет осуществляться районирование полярных морей, являются опасные геологические процессы. Данные факторы легли в основу картосхемы геологических опасностей. Автором работы выделено 7 таких факторов:

- газы различного генезиса;
- гравитационные процессы;
- проявление мерзлоты;
- площади ледового выпахивания;
- активные придонные течения и перенос осадков;
- термоабразия;
- геодинамические процессы (землетрясения).

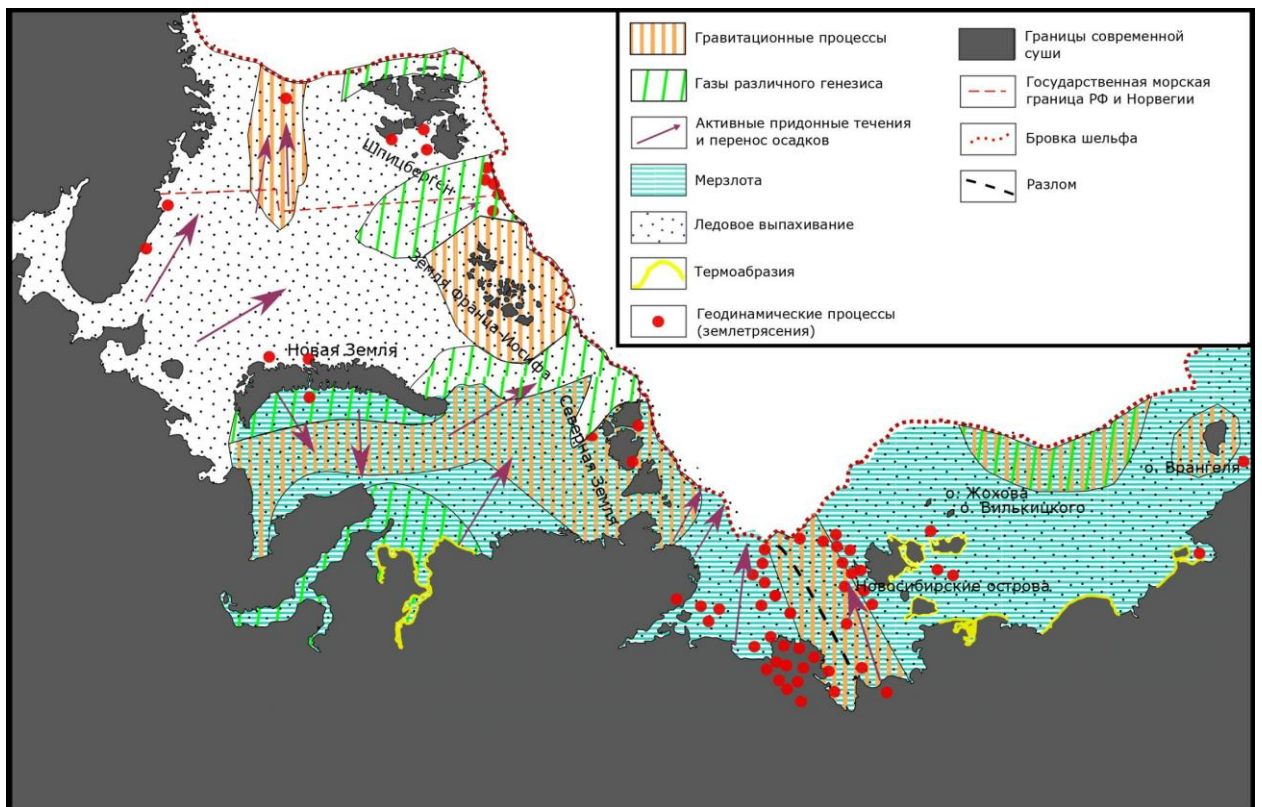


Рисунок 15. Картосхема опасных геологических процессов российской Арктики.

Степень оценки интенсивности проявления геологических опасностей зависит от количества факторов на одной и той же территории. Активное проявление подразумевает деятельность более 3 факторов, умеренное – не менее 2, а слабое – 1.

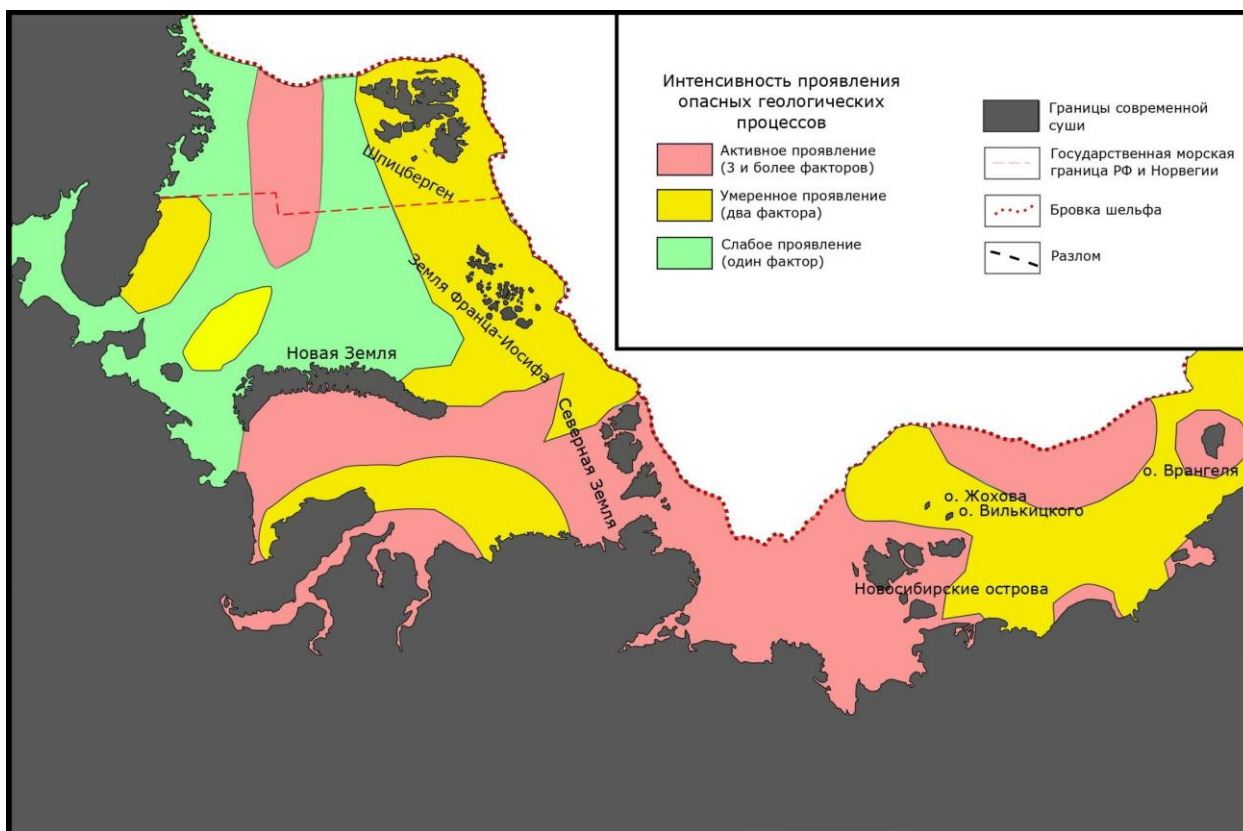


Рисунок 16. Картограмма районирования полярных морей России по характеру проявления опасных геологических процессов.

Картограмма районирования акваторий по проявлению опасных геологических процессов отображает общие закономерности площадного распространения геологических опасностей. Их можно использовать как вспомогательный ресурс для осуществления природоохранной деятельности, строительных работ по размещению объектов разноцелевого использования и, конечно же, непосредственного изучения геологических опасностей и разработки мероприятий по защите от их последствий. Информация, содержащаяся в полученных картограммах, может быть широко использована в рамках решения эколого-геологических проблем современности различными специалистами в области наук о Земле.

Заключение.

Основой дипломной работы послужило знакомство с научной литературой в области теории и методики изучения опасных геологических процессов. В ней приведена их классификация, проанализированы основные особенности опасных геологических процессов в пределах арктических морей России. Результаты рассмотренных данных характеризуют современное состояние изученности природы и механизмов развития опасных геологических процессов, влияние различных природных факторов на их образование.

В настоящее время в российской Арктике развивается Северный морской путь; регион является высокоперспективным для поиска месторождений углеводородов. Поэтому изучение геологических опасностей и механизмов их формирования необходимы для обеспечения безопасности и рациональных подходов в области осуществляемой деятельности.

В ходе работы было показано, что геологические опасности в арктических морях России приурочены к определённым условиям, проявляются с разной активностью и могут находить чёткое отражение в рельефе и толще четвертичных отложений.

Автором выпускной квалификационной работы была осуществлена картографическая интерпретация теоретических и практических материалов различных исследователей. Результатом данной деятельности являются итоговые картосхемы: 1) опасных геологических процессов российской Арктики; 2) районирования полярных морей России по характеру проявления опасных геологических процессов.

Список литературы.

Монографии:

1. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л.: Недра, 1997, с. 16-17.
2. Мельников В.П., Спесивцев В.И. Инженерно-геологические и геокриологические условия шельфа Баренцева и Карского морей. Новосибирск, Наука, 1995, с. 195.
3. Морская сейсморазведка / Под редакцией А.Н.Телегина. – М.; ООО «Геоинформмарк», 2004, с. 223.
4. Овчинникова Т.В., Проскурников Ю.Е., Федянин В.И. Опасные природные процессы эндогенного происхождения. 2007, с.77.
5. Печорское море. Системные исследования (гидрофизика, гидрология, оптика, биология, химия, геология, экология, социальноэкономические проблемы). М., "Море", 2003, с. 502.
6. Подгорная Т.И. Опасные природно-техногенные геологические процессы на освоенной территории и Дальнего Востока РФ. Хабаровск: изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013, с. 3.
7. Раковская Э.М., Давыдова М.И. Физическая география России: Учеб. для студ. пед. высш. учеб. заведений: В 2 ч. — М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2001. — Ч. 1, с. 12-17.
8. Розовский Л.Б. Введение в теорию геологического подобия и натурного моделирования. М.: Недра, 1969.
9. Славин С.В. Промышленное и транспортное освоение Севера СССР. М., 1961, с. 301.
10. Соловьев В. А. Баренцевоморский шельф // Геокриология СССР. Европейская территория СССР. М.: Недра, 1988.
11. Советская Арктика: моря и острова Северного Ледовитого океана.-М.;Наука.-1970, с. 47.
12. Сулейманов Д.М., Башинджагян И.С., Алиев Ф.С. Изучение литологического состава и инженерно-геологических свойств современных осадков газо-нефтеносных площадей Каспийского моря. Изд. АН Азерб.ССР, 1955.
13. Тихоцкий С.А. Обзор структуры, свойств донных грунтов и выявление опасных инженерно-геологических процессов и явлений для обеспечения выполнения

поисков и добычи нефти на территории Усть-Ленского, Усть-Оленекского, Анисинско-Новосибирского, Северо-Врангелевского-1,2 и Южно-Чукотского, Северо-Карского участков по материалам ранее выполненных изысканий и исследований. Отчет о научно-исследовательской работе М.: Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта, 2016, 350 с.

14. Экзогенные геологические опасности / Под ред. В.М. Кутепова, А.И.Шеко. – М.: Изд. Фирма «КРУК», 2002, с. 20-21, 97, 289 (Природные опасности России. Т. 3).
15. Чилингаров А.Н., Грузинов В.М., Сычев Ю.Ф. Русская Арктика: Введение в общую географию. – Можайск, 2014, с. 46, 83-85, 90-91, 96-105.
16. Шувалов В. М. Геофизические методы при геологических, инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях. Пермь, 1995, с. 139-145, 223.

Статьи в сборниках:

17. Григорьев М.Н. Подводная мерзлота Восточно-Арктических морей: распространение, эволюция, перспективы изучения // Pergamon`s Workshop “Offshore permafrost and related processes in the Russian Arctic”, VНИИ Океангеология (St.-Petersburg), January 17, 2011.
18. Косько М.К., Буценко В.В., Иванов В.Л. К тектонике Северного Ледовитого океана и его континентальной окраины. 60 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане. Сборник научных трудов / под. ред. д-ра геол.-мин. Наук В.Л. Иванова. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2008, с. 6-43.
19. Рыбалко А. Е., Токарев М. Ю., Локтев А. С. И др. Геологические опасные процессы – один из основных элементов современных морских геологических исследований на шельфе / Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. — Т. 4. — ИО РАН Москва Москва, 2017. — С. 357-361.
20. Romanovskii N.N., Gavrilov A.V., Kholodov A.L., Pustovoit G.P., Hubberten H.W., Niessen F., Kassens H. Map of predicted permafrost distribution on the Laptev Sea shelf// Permafrost-7th International Conference (Proceeding), Yellowknife (Canada), Collection Nordicana, №55, 1988, p. 967-972.

Статьи в журналах:

21. Бондарев В.Н., Длугач А.Г., Рокос С.И. и др. // Разведка и охрана недр. 1999. № 7/8, с. 10-14.

22. Гончар А.И., Шлычек Л.И., Голод О.С. Гидролокаторы бокового обзора. Гидроакустический журнал (Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану)), № 1, 2004, с. 22-23.
23. Грачев А.Ф., Деменицкая Р.М., Карасик А.М. Срединный Арктический хребет и его материковое продолжение // Геоморфология. 1970. № 1, с. 42-45.
24. Ермолов А.А. Исследование опасных экзогенных геологических процессов в рамках комплексных инженерных изысканий и производственного мониторинга на линейных объектах. Инженерные изыскания. 2014; (12): 39-41.
25. Колюбакин А.А., Миронюк С. Г., Росляков А.Г., Рыбалко А.Г., Терехина Я.Е., Токарев М.Ю. Применение комплекса геофизических методов для выявления опасных геологических процессов и явлений на шельфе моря Лаптевых //Инженерные изыскания. № 10-11, 2016,с. 38-51.
26. Куликов Е.А., Иващенко И.А., Медведев И.П., Яковенко О.И., Ковачев С.А. К вопросу о цунамиопасности арктического региона. Арктика: экология и экономика. 2016, 3, (23), 38-49.
27. Миронюк С.Г., Отто В.П. Газонасыщенные морские грунты и естественные газовыделения углеводородов: закономерности распространения и опасность для инженерных сооружений / Геориск, 2014, № 2, с. 8-18.
28. Нербесов Б. А. Особенности поиска подводных потенциально опасных объектов в Балтийском море. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, №11-2, 2017, с. 270-275.
29. Никонов А. А. Небывалое бедствие в селе Кашкаранцы // Природа. – 2015. – № 1 (1193), с. 51-55.
30. Никулин А.А. Полезные ископаемые Арктической зоны России: потенциал и перспективы освоения // Проблемы национальной стратегии. 2017. № 1 (40), с. 165.
31. Сергеев Е.М. Положение инженерной геологии в разделе геологических наук, ее современное состояние и пути дальнейшего развития/Инженерная геология. 1989. №2. с. 5-14.
32. Селин В.С., Васильев В.В., Широкова Л.Н. Российская Арктика: география, экономика, районирование // Апатиты, 2011, с. 10-11.
33. Разумов С. О., Спектор В. Б., Григорьев М. Н. Модель позднекайнозойской эволюции криолитозоны шельфа моря Лаптевых // Океанология, том 54, № 5, 2014, с. 679-693.

34. Рокос С.И. Инженерно-геологические особенности подводных зон с аномально высоким пластовым давлением на шельфе Печорского и Карского морей // Инженерная геология №. 4: 2008, с. 22-28.
35. Шполянская Н.А. Арктический шельф и вечная мерзлота. Журнал «Природа», М.: Наука, № 1, 2005, с. 53-60.
36. Шполянская Н.А. Пространственное взаимоотношение покровных ледников и вечной мерзлоты. Журнал «Лед и снег». М.: Наука, № 1, 2011, с. 75-80.
37. Judd A., Hovland M. Seabed Fluid Flow, the impact on geology, biology and the marine environment. Vogt P.R., Crane K., Sundvor E., Max M.D., Pfirman S.L. Methane-generated pockmarks on young, thickly sedimented oceanic crust in the Arctic: Vestnesa ridge, Fram strait // Geology, 1994, v. 22, №3, p. 255-258.

Фондовые материалы:

38. Геология и полезные ископаемые России. В шести томах. Т.5. Арктические и дальневосточные моря. Кн.1. Арктические моря / ред. И.С. Грамберг, В.Л. Иванов, Ю.Е. Погребницкий. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004, с. 31-36.
39. Григорьев М.Н. Криоморфогенез и литодинамика прибрежно-шельфовой зоны морей Восточной Сибири. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора географических наук, Якутск, 2008, 40 с.
40. Национальный атлас России. Т. 1. Общая характеристика территории – В 4-х томах – Т. 1. – М.: Федеральное агентство геодезии и картографии России, – 2004. С.318
41. Российская Арктика в XXI веке: природные условия и риски освоения: атлас / Рус. геогр. о-во, Моск. гос. ун-т им. М.В.Ломоносова; сост. Д.В.Магрицкий [и др.]. - М.; СПб.: Феория, 2013, с. 27-29, 37.
42. Рокос С.И. Особенности формирования приповерхностных зон АВПД на шельфе Печорского и Карского морей // Доклад на Международной конференции по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ (RAO/GISOffshore), С.-Петербург, 10–13 сентября 2013 г.
43. Щербаков В.А. (отв. исполнитель), Рыбалко А.Е., Захаров М.С., и др. Инженерно-геологическая карта окраинных морей Северного Ледовитого океана Арктической Зоны Российской Федерации масштаба 1:5 000 000. Объяснительная записка. ФГБУ «ВНИИОкеангеология», 2018, 280 с.

Нормативно-технические документы:

44. ГОСТ 22.0.03-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. М.: Госстандарт России, 1995.
45. ГОСТ Р 22.1.06-99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование опасных геологических явлений и процессов. Общие требования. М.: Госстандарт России, 1999.
46. Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений. М.: ГосстройРФ, 2004. 87 с.
47. Пособие по инженерным изысканиям для проектирования и строительства магистральных газопроводов на шельфе. М.: Изд-во РАО «Газпром», 1996. 128 с.
48. Руководство по инженерно-геологическим изысканиям для самоподъемных плавучих буровых установок. Рига: Изд-во ВНИИМоргео, 1989. 87 с. СП 11-114-2004.
49. СП 115.13330.2012 (в стадии актуализации СНиП 22-01-95). Геофизика опасных природных воздействий. М.: Минстрой России, 2012.
50. Требования по созданию дополнительных карт и схем к комплекту Госгеолкарты-1000/3. Карта геологических опасностей / Ред. Колл.: А.С. Застрожных, Б.А. Борисов, Л.Р. Семенова, В.Д. Тарноградский, С.Н. Суриков. СПб.: ВСЕГЕИ, 2005. 31 с.

Ресурсы сети Интернет:

51. Дмитриевский Н.Н., Ананьев Р.А. и др. Некоторые результаты высокоразрешающих сейсмоакустических исследования в морях Восточной Арктики в 2013г. [Электронный ресурс]. URL: http://www.giab-online.ru/files/Data/2013/3/131-136_Dmitrevskiy_S%B93_-_6_str.pdf (дата обращения: 21.02.2019).
52. Козлов С.А. Опасные для нефтегазопромысловых сооружений геологические и природотехногенные процессы на Западноарктическом шельфе России. Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». [Электронный ресурс] URL: http://www.ogbus.ru/authors/Kozlov/Kozlov_2.pdf (дата обращения: 17.03.2019).
53. Шахова Н.Е., Семилетов И.П. Метан в морях Восточной Арктики: избранные результаты исследования (1994-2014) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=0e8cedcef45f-4645-ab67> (дата обращения: 09.03.2019).
54. Экспедиции Государственного океанографического института в Западной Арктике. [Электронный ресурс] URL:

http://esimo.oceanography.ru/esp2/index/index/esp_id/8/section_id/4699 (дата обращения: 26.02.2019).