

# КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАПАДНО-АРКТИЧЕСКОЙ ШЕЛЬФОВОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

Козлов С.А.

*ВНИИОкеангеология МПР РФ, Санкт-Петербург*

*Заложены теоретические и методологические основы проведения инженерно-геологических исследований нефтегазоперспективных провинций арктического шельфа в ракурсе региональной инженерной геологии. Предложена структура системы знаний о инженерно-геологических условиях нефтегазоносных провинций арктического шельфа. Показаны роль и значение океанографических и мерзлотных факторов в формировании инженерно-геологических условий региона.*

*Theoretical and methodological bases of realization of engineering - geological researches perspective on petroleum and gas of provinces of the Arctic shelf in a camera angle of regional engineering geology are incorporated. The structure of system of knowledge of engineering - geological conditions of perspective provinces of the Arctic shelf is offered. The role and value of oceanographic and cryogenic factors in formation of engineering - geological conditions of region are shown.*

Основной задачей океанологии является комплексное изучение различных (физических, химических, биологических и геологических) аспектов природы Мирового океана для наиболее эффективного использования его ресурсов человеком. Для решения этой задачи в океане выполняются измерения разнообразных характеристик и свойств, исследуются управляющие различными процессами закономерности и разрабатываются теории, составляется прогноз развития процессов. Предлагаемое исследование посвящено решению теоретических и практических вопросов инженерно-геологического обеспечения строительства и безопасной эксплуатации сооружений подводного промысла углеводородного сырья на Баренцево-Карском шельфе.

В результате цикла работ на нефть и газ в Баренцевом и Карском морях, выполненных в 1970-80-х гг. силами Министерства геологии и топливно-энергетических ведомств страны, была открыта и подготовлена к освоению *Западно-Арктическая шельфовая нефтегазоносная провинция* (включающая нефтегазоносные и перспективные структуры Баренцева с Печорским и Карского морей), недра которой содержат до 80% ресурсов арктического шельфа России (по современному состоянию изученности). В пределах провинции было выявлено и разведано более 10 промышленных нефтяных, нефте-, газоконденсатных и газовых месторождений, включая 4 уникальных (Штокмановское и Ледовое в Баренцевом море, Ленинградское и Русановское – в Карском) и 4 крупных. В 1995 году за это открытие группе учёных и геологоразведчиков во главе с академиком И.С.Грамбергом была присуждена Государственная премия России.

На Западно-Арктическом шельфе России усилиями специалистов морской геологической отрасли открыты не только акваториальные продолжения

бассейнов суши (Тимано-Печорская и Западно-Сибирская НГП), но и самостоятельные, возможно, более богатые шельфовые нефтегазоносные бассейны (Баренцевская НГП). В ближайшие годы Западно-Арктический шельф России станет областью интенсивной разработки морских месторождений нефти и газа, среди которых нефтяные Приразломное и Варандейское, газоконденсатное Штокмановское и многие другие; будут установлены нефтегазодобывающие платформы, созданы терминалы и насосные станции, построена сеть трубопроводов.

К настоящему времени выполнены разрозненные инженерно-геологические работы на нефтегазоперспективных площадях Баренцево-Карского шельфа (АМИГЭ, МАГЭ), на месторождениях ракушнякав и трассах проектируемых коммуникаций (МАГЭ, ВНИИОкеангеология), на объектах геоэкологического изучения. Назрела острая необходимость регионального обобщения инженерно-геологических условий Западно-Арктического шельфа России как системы знаний о взаимодействии основных природных компонентов геологической среды шельфа с нефтегазопромысловыми сооружениями.

### **Состояние проблемы, инженерно-геологическая изученность региона**

Историю инженерно-геологического изучения Западно-Арктического шельфа России можно условно разделить на 3 этапа: сбора первичной геологической информации, разработки концептуальных основ инженерно-геологического изучения арктических шельфов и целенаправленного инженерно-геологического изучения нефтегазоперспективных площадей Западно-Арктического шельфа России.

*1. Этап сбора первичной геологической информации (до 1969 г.).* Первые, самые общие сведения о характере физических и прочностных свойств донных осадков Баренцева моря были получены в XIX веке русскими и зарубежными научными экспедициями. Более детальное изучение донных осадков шельфа началось в 20-е годы прошлого века в связи с созданием Плавучего морского института (Плавморнина), в результате работ которого в 1931 году была составлена первая карта донных грунтов Баренцева моря. В последующие годы изучение донных отложений было продолжено экспедициями Полярного института (ПИНРО), Научно-исследовательского института геологии Арктики (НИИГА, ныне - ВНИИОкеангеология). В 50-х годах XX века специалисты НИИГА провели рекогносцировочные геолого-геофизические исследования на Западно-Арктическом шельфе, по результатам которых была дана первая высокая прогнозная оценка перспектив недр на углеводородное сырьё. В 60-е годы началось планомерное геофизическое изучение региона по программам мировой гравиметрической съёмки и батиметрического изучения дна Полярного бассейна, в том числе сейсмическими методами. Для выполнения названных задач в рамках НИИГА была организована Полярная экспедиция, позднее преобразованная в самостоятельное морское геолого-геофизическое предприятие (ПМГРЭ). Инженерно-геологические исследования на этом этапе ограничивались мелкомасштабными съёмками побережий Чёшской губы и Печорского моря, инженерно-геологическими изысканиями для обоснования различных стадий проектирования комплекса сооружений на Кольском побережье Баренцева моря,

на Новой Земле и островах архипелага Земля Франца-Иосифа, окружающих акваториях.

2. *Этап разработки концептуальных основ инженерно-геологического изучения арктических шельфов (1969 г. – начало 1980-х годов).* Начиная с 1969 года группа специалистов НИИГА под руководством Я.В.Неизвестнова приступила к разработке методики региональных и детальных инженерно-геологических и гидрогеологических работ на шельфе, занялась получением новых данных и обобщением существующих инженерно-геологических материалов НИИГА, Арктикпроекта, Ленморниипроекта, Аэропроекта и других организаций по арктической шельфовой зоне СССР. В этот период было подготовлено монографическое описание инженерной геологии шельфов и островов Советской Арктики, даны заключения по инженерно-геологическим условиям строительства портовых пунктов, морского газопровода через Байдарацкую губу и некоторых других сооружений в прибрежной части Баренцева и Карского морей, составлена программа инженерных изысканий для ТЭО возведения искусственных островов и других оснований буровых установок на акваториальных продолжениях структур полуостровов Ямал и Гыдан.

Для исследования перспектив нефтегазоносности докайнозойских отложений осадочного чехла шельфа в 1972 году на базе НПО «Севморгео» (позже – ПГО «Севморгеология») создана Комплексная морская арктическая геолого-геофизическая экспедиция (КМАГЭ, с 1982 г. – МАГЭ). За период 1974-80 гг. КМАГЭ провела региональные геолого-геофизические работы масштаба 1:1000000-1:200000 на Северо-Канинском и Канинско-Колгуевском мелководье, Мурманской, Северо-Гуляевской и Коргинской перспективным площадям, Приямальском шельфе. В результате работ, выполненных с использованием геоакустического и сейсмоакустического профилирования, грунтового опробования, получены новые данные, характеризующие инженерно-геологические условия региона: построены карты типов донных осадков, структурные схемы рельефа дна, проведены исследования физико-механических свойств грунтов. Работами КМАГЭ на Карском шельфе в 1975 году были выявлены положительные структуры Русановской и Ленинградской площадей, находящиеся на продолжении нефтегазоносных площадей Ямальского полуострова.

Начиная с 1980 года КМАГЭ (МАГЭ) проводит полистную геологическую съёмку шельфа масштаба 1:1000000, в ходе которой были получены отдельные элементы инженерно-геологических условий региона, включая рельеф дна, физико-механические свойства донных осадков; построены карты инженерно-геологического районирования. В 1982 году, после проведения анализа и обобщения ранее полученных материалов по изучению донных осадков региона сотрудниками НИИГА была составлена «Геологическая карта шельфа Баренцева и Карского морей и прилегающей суши» масштаба 1:1000000.

Своеобразным логическим итогом этапа можно считать завершение диссертационной работы Я.В.Неизвестнова «Инженерная геология зоны Арктических шельфов СССР» (НИИГА, 1979 г.), основные положения которой отражены в статье «Методологические основы изучения инженерной геологии арктических шельфов СССР» [60] и монографии «Инженерная геология СССР. Шельфы СССР» [66]. В названной диссертации, посвящённой проблеме изучения инженерно-геологических условий морей Советской Арктики, были рассмотрены

методологические принципы изучения инженерно-геологических условий шельфов, разработана методика прогнозной инженерно-геологической оценки полярных шельфов и дана прогнозная инженерно-геологическая характеристика зоны арктических шельфов СССР.

3. *Этап специализированного инженерно-геологического изучения нефтегазоперспективных площадей Западно-Арктического шельфа России (начало 1980-х годов – настоящее время).* Связан с началом целенаправленного (специализированного) инженерно-геологического изучения нефтегазоперспективных площадей Баренцево-Карского шельфа основанной в 1980 году в составе Всесоюзного НИИ морской геологии и геофизики «ВНИИМОРГЕО» Арктической комплексной морской геологической экспедицией (АКМГЭ, с 1988 – АМИГЭ). Уже на первых этапах деятельности в АКМГЭ использовались сейсмоакустические методы (в основном, метод одноканального непрерывного сейсмоакустического профилирования НСП), эхолотирования, реже – гидролокация бокового обзора (ГЛБО), опробование донных отложений лёгкими техническими средствами (ЛТС), лабораторные определения физико-механических свойств грунтов. С 1982 года АКМГЭ начинает использовать при инженерно-геологических исследованиях специализированные буровые суда, на которых осуществляется инженерно-геологическое бурение, делается интерпретация геофизических данных, даётся инженерно-геологическая характеристика грунтов при их испытаниях в естественных условиях (*in situ*) и судовой лаборатории.

В 1981-84 годах региональные геолого-геофизические и геолого-геохимические работы м-ба 1:500000 и 1:100000 на Кольском шельфе и на участках Дресвянской и Восточно-Колгуевской площадей проводит Мурманская морская геолого-геофизическая экспедиция ВМНПО «Союзморгео» (с 1985 г. – трест «Севморнефтегазгеофизика»). В результате работ получены данные, характеризующие инженерно-геологические условия этих площадей, в частности – рельеф дна и состав донных грунтов на глубину до 3 м.

С 1986 года при инженерно-геологических работах начинает использоваться многоканальное цифровое сейсмоакустическое профилирование и появляется техническая возможность бурения инженерно-геологических скважин на участках шельфа до 300 м, что позволило проводить бурение на глубоководной Штокмановской площади.

В общей сложности АМИГЭ в эти годы проводит инженерно-геологические исследования с детальностью от 1:1000000 до 1:50000 на большинстве нефтегазоперспективных площадей Западно-Арктического шельфа России. Дополнительно проводятся детальные инженерно-геологические изыскания масштаба 1:10000 и 1:5000 на более чем 90 площадках проектируемых нефтегазопроисловых скважин глубокого бурения (для постановки и эксплуатации буровых судов, полупогружных и самоподъёмных буровых установок). Проведены инженерно-геологические изыскания под ледостойкие платформы на Приразломной и Варандейской структурах и под три варианта трассы продуктопровода «ШГКМ - п. Териберка». В результате проведённых АМИГЭ инженерно-геологических исследований составлены карты различных масштабов: рельефа дна, донных грунтов, геологические, геоморфологические и инженерно-геологические.

В 1990-е годы происходит существенное сокращение инженерно-геологических исследований на Западно-Арктическом шельфе России, проводятся отдельные детальные изыскания на площадках установки буровых платформ и трассах прокладки проектируемых морских трубопроводов.

В ходе экологических исследований, проводимых Международной морской экспедицией в 1993 году в Карском море на НИС «Дмитрий Менделеев» и «Дмитрий Овцын», проведено опробование донных осадков с помощью лёгких технических средств на 46 станциях. Для 27 проб, отобранных в северо-восточной части Карского моря и 4 проб, взятых в устье реки Оби, в лабораторных условиях было проведено исследование физико-механических свойств грунтов [88].

В 1995 году опубликованы результаты обобщения некоторых материалов морского инженерно-геологического бурения, непрерывного сейсмоакустического профилирования, геокриологических исследований и лабораторных анализов инженерно-геологических свойств грунтов, выполненных АМИГЭ [53].

Специальные геолого-геофизические исследования с определением в судовых лабораториях физико-механических свойств грунтов были выполнены в 1998 году на НИС «Академик Сергей Вавилов» и ГС-260. Пробоотбор осуществлялся с помощью дночерпателей «Океан» и вибротрубок «ДИП-Шельф» с рабочим давлением 14-18 атм.

В 1996-2000 годах специалистами ВНИИОкеангеология выполнена серия научно-исследовательских разработок (С.А.Козлов и др.), посвящённых изучению инженерно-геологических условий нефтегазовых месторождений Западно-Арктического шельфа, выработке научно-методических основ инженерно-геологических исследований в системе мониторинга геологической среды шельфа, разработке инженерно-геологических аспектов геоэкологических требований к производству нефтегазоразведочных работ и к эксплуатации нефтегазовых месторождений на шельфах России; подготовлены инженерно-геологическая карта и схема развития опасных геологических и природно-техногенных процессов и явлений. Подготовлен отраслевой документ «Методические рекомендации по проведению инженерно-геологических исследований при геологической съёмке шельфа» [56], где предложен оптимальный комплекс исследований при ГСШ.

В последнее время А.С.Локтевым (АМИГЭ) выполнен подробный анализ технологий современных способов исследований морских грунтов и теоретических основ интерпретации по российским и зарубежным источникам, даны рекомендации по их применению; проведено исследование и гармонизация российских и зарубежных стандартов. Практический интерес представляют результаты интерпретации статического зондирования (данные СРТ), полученные по результатам авторских исследований 282 скважин. Здесь впервые получена научно обоснованная классификационная шкала грунтов по данным СРТ, целиком приспособленная для отечественных стандартов.

Необходимый для инженерно-геологических целей фактический материал по геологии Баренцева и Карского морей обобщён в работах, содержащих анализ общих геологических проблем, сейсмостратиграфических и тектонических особенностей строения шельфа [6, 5, 80, 59, 7, 2, 86, 71, 74, 15, 70], вещественного состава [48], инженерно-геологических условий [61, 53, 64, 65, 43, 38-41 и др.],

геокриологических условий [3, 22, 23, 79, 14, 27, 84 и др.]; экогеохимической обстановки [1, 16, 21, 30 и др.].

### Объект и предмет исследований

Объектом исследований является подводная технолитосфера (геологическая среда) Западно-Арктической шельфовой нефтегазоносной провинции России, под которой понимается область развития донных осадков и горных пород, в перспективе находящихся под воздействием инженерных сооружений. Провинция включает в себя перспективные в отношении нефтегазоносности площади Баренцево-Карского шельфа (табл. 1), ограничена с запада государственной границей России, с востока – полуостровом Ямал и с севера - широтой северного окончания архипелага Новая Земля.

Таблица 1

Промышленные месторождения Западно-Арктической шельфовой нефтегазоносной провинции [34]

Месторождение, год открытия	Фазовое состояние УВ	Возраст вмещающих толщ	Крупность месторождения	Тип коллектора
<b>1. Печорское море</b>				
Поморское, 1985	нефтегазо-конденсат	$C_3 - P_1$	среднее	карбонатный
Северо-Гуляевское, 1986	нефтегазо-конденсат	$P_2, C_3 - P_1$	среднее	терригенный, карбонатный
Приразломное, 1989	нефть	$C_3 - P_1$	крупное	карбонатный
Варандей-море, 1995	нефть	$C_3 - P_1$	среднее	карбонатный
Медынское-море, 1997	нефть	$C_3 - P_1, D_3, D_1$	крупное	карбонатный
Долгинское, 1999	нефть	$P_2, C_3 - P_1$	крупное	терригенный, карбонатный
<b>2. Баренцево море</b>				
Мурманское, 1983	газ свободный	T	крупное	терригенный
Северо-Кильдинское, 1985	газ свободный	T	среднее	терригенный
Штокмановское, 1988	газоконденсат	J	уникальное	терригенный
Лудловское, 1992	газ свободный	J	крупное	терригенный
Ледовое, 1992	газоконденсат	J	крупное	терригенный
<b>3. Карское море</b>				
Русановское, 1989	газ свободный	K	уникальное	терригенный
Ленинградское, 1990	газ свободный	K	уникальное	терригенный

Инженерно-геологические условия Западно-Арктической шельфовой нефтегазоносной провинции России рассматриваются автором в ракурсе региональной инженерной геологии, исследующей строение и свойства геологической среды различных регионов в связи с осуществляемой или планируемой инженерно-хозяйственной деятельностью человека [81]. При этом комплексно исследуются инженерно-геологические условия территории, включающие «...характер горных пород, условия их залегания и свойства, рельеф территории, мерзлотные и гидрогеологические особенности, современные геологические процессы и явления, как природные, так и техногенные» [76]. Региональная инженерная геология изучает структурно-пространственную организацию и эволюцию геологической среды, состав, состояние и свойства слагающих её компонентов, их взаимодействия и изменчивость в связи с планируемой или осуществляемой деятельностью человека; т.е. занимается изучением инженерно-геологических условий крупных регионов для решения теоретических и практических задач, связанных с освоением этих территорий [35].

Основные положения современной инженерной геологии как науки о взаимодействии компонентов геологической среды с инженерными сооружениями заложены в трудах Ф.П.Саваренского, И.В. Попова, В.Д.Ломтадзе, Е.М.Сергеева, В.И.Осипова, В.Т.Трофимова, Я.В.Неизвестнова и др.

Таким образом, *предмет авторских исследований – региональные инженерно-геологические условия, особенности их формирования и закономерности пространственно-временной изменчивости; объект изучения – геологическая среда Западно-Арктической шельфовой нефтегазоносной провинции России.*

Инженерно-геологические условия шельфа, представляющие собой систему знаний о взаимодействии элементов геологической среды с инженерными сооружениями, по Я.В.Неизвестнову, включают в себя подсистемы (элементы приведены в скобках) [56]:

- горные породы и донные осадки (стратификация, условия залегания, положение в рельефе, состав, состояние и свойства грунтов);
- подземные флюиды (состав, состояние и свойства);
- геологические процессы и явления (естественные – сейсмические, вулканические, тектонические, гравитационные, криогенные, экзарационные процессы, перенос взвесей течениями и др.; техногенные – взмучивание и др.);
- инженерные сооружения (удельное давление на дно, характер передачи нагрузки, продолжительность воздействия, особенности взаимодействия с грунтом, материалы строительных конструкций).

При этом инженерно-геологические условия рассматриваются не как механическая сумма подсистем и элементов, а как единая, сложная, развивающаяся динамическая система, в которой все компоненты не только связаны и взаимодействуют между собой, но находятся в сложных и многообразных формах связи со всей окружающей средой [9].

Приведённые компоненты системы, однако, требуют некоторого развития, уточнения. (рис. 1). Важнейшей самостоятельной подсистемой инженерно-геологических условий следует считать рельеф (геоморфологические условия). Его значение и самостоятельная роль в системе инженерно-геологических условий очевидны: Западно-Арктическому шельфу, а в наибольшей степени –



Рис. 1 Инженерно-геологические условия Западно-Арктической шельфовой нефтегазоносной провинции России (система знаний)

Баренцеву морю, свойственна существенная расчленённость. Рельеф шельфа представлен сложным чередованием структурных, структурно-скульптурных и скульптурных форм различного генезиса и возраста, является одним из важнейших компонентов инженерно-геологических условий.

Особенностью шельфовых инженерно-геологических условий (в отличие от субъаэральных) является значительная (во многом – определяющая) роль современных и древних гидрологических и климатических факторов. Инженерно-геологическое значение океанографических и мерзлотных условий, выполняющих для арктических шельфов роль основных контролирующих факторов (причин, движущих сил по В.Д.Ломтадзе [52]) в формировании инженерно-геологических условий, связано с широким развитием реликтовой и новообразующейся мёрзлых толщ и связанных с ними криогенных процессов, воздействием на донные грунты айсбергов, плавучих и припайных льдов, разнообразием литодинамических процессов. Как было отмечено В.Т.Трофимовым [82], инженерно-геологические условия есть открытая, сложная, многофакторная, изменяющаяся во времени система, современное состояние которой определяется как структурно-геологическими, так и *современными климатическими* особенностями территории.

Кроме того, следует несколько уточнить название подсистемы «Инженерные сооружения», поменяв его на «Инженерные сооружения и техногенные воздействия» (техногенный фактор, по В.Т.Трофимову), что более ёмко и точно определяет суть вопроса. К такому же обозначению техногенного компонента инженерно-геологических условий косвенно склоняются и авторы монографии

«Региональная инженерная геология (теоретические основы)» [35], которые указывают, что «под инженерными сооружениями авторы понимают не только сооружения различного назначения, но и техногенное воздействие на компоненты геологической среды в зоне влияния этого сооружения». Применительно к инженерно-геологическим условиям шельфа помимо техногенного воздействия планируемых нефтегазопромысловых (инженерных) сооружений следует учитывать воздействия, не имеющие точной привязки к конкретным инженерным сооружениям. Например, изменения устойчивости геологической среды, связанные с изменениями физико-механических свойств донных грунтов при их полиэлементном техногенном загрязнении (в акваториях Мурманска и Североморска), прорыве газа из подмерзлотных и глубинных геологических слоёв при техногенных изменениях термобарических условий (например, в Печорском море), увеличении скорости абразии (термоабразии) берегов в результате общей интенсификации хозяйственной деятельности (посёлок Варандей) и др. Характер техногенных воздействий на геологическую среду предполагает активное участие в подобных процессах природных компонентов.

### **Океанографические и мерзлотные условия**

Климат Западно-Арктического шельфа России – полярный морской: «аномально» тёплый для своего положения - в Баренцевом море (находящимся под сильным воздействием циркуляции атмосферы, особенно в холодное время, и поступления тёплых атлантических вод) и относительно суровый – в Карском море (смягчаемый в осенне-зимний период под действием ложбины Исландского минимума [73]). В юго-западной части Баренцева моря температура морской воды плавно и в небольших пределах понижается с глубиной до дна, оставаясь положительной в течение всего года. На юго-востоке, в северной части моря, а также в приноземельском районе зимой температура воды от поверхности до дна отрицательная. В Карском море зимой в подлёдном слое температура воды изменяется от  $-1,5^{\circ}$  до  $-1,8^{\circ}\text{C}$ . Наибольшая солёность на поверхности Баренцева моря 35‰ наблюдается в юго-западной части в районе Нордкапского жёлоба, к северу и югу от которого она понижается до 34,5‰, а в юго-восточной части – до 32-33‰ (во время прохождения волны паводка в печорской губе солёность уменьшается до 4,0–25,5‰). Солёность поверхностных вод Карского моря изменяется от 3-5‰ в его южной части (в районах устьев Оби, Енисея и других крупных рек) до 33-34‰ на севере.

Устойчивый поток тёплого Нордкапского течения входит в Баренцево море с запада и движется на восток, образуя разветвлённую систему тёплых течений: Прибрежное Мурманское со скоростью около 0,25 м/с, Канинское – 0,15-0,20 м/с, Колгуевское – 0,10-0,15 м/с, Новоземельское – 0,10-0,15 м/с [4, 26]. Приливные течения, одна из главных черт динамики Баренцева моря, носят преимущественно правильный полусуточный характер и имеют наибольшие скорости в поверхностном слое: при входе в Воронку Белого моря – свыше 1,50 м/с; вдоль Мурманского берега, в Канино-Колгуевском районе – 0,70 м/с, на остальной акватории – от 0,20 до 0,50 м/с. Воздействие циклонов проявляется в сильной изменчивости течений даже в струях основных потоков. Согласно расчётам, скорость течений, вызванных прохождением глубоких циклонов, достигает 0,40-0,50 м/с в центральной части моря и 0,60-0,70 м/с – в относительно мелководной

юго-восточной части [Ветер и волны..., 1974]. Скорости постоянных течений в Карском море невелики - 0,02-0,05 м/с, при длительных и сильных ветрах могут существенно возрастать.

Для ледовитости Баренцева моря характерна большая межгодовая и сезонная изменчивость. В годы аномально большой ледовитости кромка льдов в апреле опускается в западных районах южнее 73° с.ш., а на востоке подходит к о.Кильдин, свыше 90% поверхности моря покрывается мощными сплочёнными льдами. В августе-сентябре аномально тёплых лет море полностью очищается от льда [4, 17]. Максимальной толщины 1,3-1,5 м лёд достигает к концу зимы на севере моря, где преобладают обширные ледовые поля и обломки полей. Юго-восточная часть моря покрыта преимущественно льдами переменной сплочённости толщиной 0,70-0,80 м. Встречаются айсберги, наблюдаемые в различных частях Баренцева моря. Карское море с октября по май практически полностью покрыто дрейфующими льдами толщиной до 1,5-2,0 м. Гидрометеорологические характеристики участков Западноарктического шельфа России, перспективных для строительства нефтегазопромысловых сооружений, приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Метеорологические характеристики участков перспективного строительства на Западно-Арктическом шельфе России [24]

Параметр и явление	Штокмановское ГКМ	Печорское море	Байдарацкая губа	Северо-западный берег Ямала	Обь-Тазовский район
1. Температура воздуха, °С					
среднегодовая	-1,2	-5,6	-9,0	-9,7	-8÷-11
<i>летняя</i>					
минимальная	-	-9	-4	-6	-3
средняя	-	7-10	5-7	5-6	8-12
максимальная	23	30-32	28-32	29	30
<i>зимняя</i>					
минимальная	-28	-48	-50	-49	-51
средняя	-	-13÷-19	-20÷-22	-20÷-25	-24÷-29
максимальная	-	2-5	0-2	0-2	0
2. Продолжительность холодного периода, сутки	160	240	240	250	240
3. Скорость ветра, м/с					
осреднённая за 10 мин	43	35	26	28	31
осреднённая за 2 мин	53	40	40	34	-
осреднённая за 3 с	-	49	-	-	-
4. Средняя продолжительность ветра со скоростью более 15 м/с (в часах)	8-10	7 (max 60)	-	-	-

Таблица 2

Гидрологические характеристики участков перспективного строительства на  
Западно-Арктическом шельфе России [24]

Параметр и явление	Штокмановское ГKM	Печорское море	Байдарацкая губа	Северо-западный берег Ямала	Обь-Тазовский район
1. Температура поверхности моря, °C					
минимальная	-1,7	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9
средняя	2,4	2,8	0,9	-	-
максимальная	8,2	10,9	12,9	8	16,5
2. Солёность поверхности моря, ‰					
минимальная	34,68	12,67	20,65	0,19	-
средняя	34,86	31,55	31,8	-	0-31
максимальная	35,03	33,46	35,44	30,56	-
3. Температура придонного слоя, °C					
минимальная	-1,7	-1,7	-1,9	-	0,5
средняя	-	0	0,05	-	-
максимальная	0,8	4,0	12,2	-	2,0
4. Приливы относительно среднего уровня моря, см					
минимальный	-46	-61	-51	-	-
максимальный	+51	+83	+55	-	-
размах	97	144	106	60-100	50-200
5. Экстремальный уровень моря относительно среднего, см (1 раз в 100 лет)					
минимальный	-86	-170	-106	-	-
максимальный	+107	+222	+167	-	-
6. Скорость течения, см/с					
приливное	38	38	40	20-30	12-30
суммарное	146	123	84	100	80-148
7. Высота волны, м (0,1%-ная обеспеченность)	23,7	9-10	-	5-7	3-4

Предлагаемая автором оценка инженерно-геологических условий нефтегазоносной провинции Западно-Арктического шельфа России основана на учёте особенностей литогенеза четвертичных отложений в арктическом регионе, которые позволили Н.Н.Лапиной с соавторами [50] выделить его в отдельный тип – *полярный литогенез*, который был позднее обозначен И.Д.Даниловым [22] как «...литогенез в зонах устойчивого охлаждения Земли при отрицательных или близких им температурах и при активном участии льда – наземного, подземного, поверхностного льда водоёмов». Полярный режим региона предопределил развитие субаквальной криолитозоны, отразился на специфике осадконакопления, включая ледовый и айсберговый разнос обломочного материала, экзарационное воздействие плавучих льдов на дно и т.д.

При этом наибольшее влияние на донные осадки и отложения оказало одно из проявлений полярного литогенеза – промерзание, *криодиагенез* (по А.И.Попову), связанный с образованием льда в качестве аутигенного материала, обезвоживанием минеральных агрегатов в результате миграции свободной и связанной воды, с их внутриобъемным сжатием и формированием разно сопрягающихся ледяных шлиров, с необратимым разрывом коагуляционных связей [72]. Наибольшее влияние на современные мерзлотные и экзарационные процессы, физико-механические свойства донных грунтов оказали три этапа развития криолитозоны шельфа, выделенные В.А.Соловьёвым [79]:

□ Этап плейстоценовых трансгрессий (эоплейстоцен - поздний плейстоцен), сопровождаемый обширными трансгрессиями и, большей частью, неблагоприятный для формирования криолитозоны.

□ Этап позднеплейстоценовых (предголоценовых) регрессий, оптимальный для глубоководного промерзания большей части шельфа.

□ Этап последней позднеплейстоцен-голоценовой трансгрессии (начавшийся 19-18 тыс. лет назад), характеризующийся постепенной сменой субэвальной обстановки на субаквальную и определивший развитие современных процессов термоабразии и деградации субаквальной криолитозоны.

Поддонная криолитозона Баренцева и Карского морей имеет широкое распространение на западе региона и практически сплошное – на востоке [62]. Криолитозона отсутствует в западной части Баренцева моря, «прогреваемой» водами Атлантики. Положение поддонной криолитозоны довольно точно отражается в средней температуре придонных морских вод.

Строение криолитозоны Баренцево-Карского шельфа характеризуется широким развитием морозных пород, насыщенных криопэгами и одного-двух, а возможно и трех горизонтов многолетнемерзлых пород и льдов, развитых фрагментарно (возможно, включая газовые гидраты).

Надмерзлотные криопэги. Морозные породы, насыщенные криопэгами, имеют практически сплошное распространение в поддонной криолитозоне морей. Криопэги, как правило, представляют собой отрицательнотемпературные воды морского состава с минерализацией, близкой к придонным водам. Об этом можно судить, сравнивая результаты химического состава поровых вод, отжатых при давлении 0,098-24,5 МПа из посткриогенных ледниковых и ледниково-морских отложений позднеэоплейстоценового возраста, из современных донных осадков (формулы 1,2,3) с составом придонных морских вод:

Баренцево море, Мурманское мелководье, ст.120, поддонный интервал,

012 – 0,61 м пески глинистые g Q<sub>III</sub>

$$M_{34,1} \frac{Cl_{90,2}SO_4 9,1HCO_3 0,7}{(Na + K)79,3Mg17,4Ca3,3} T - 0,1 \text{ } ^\circ C \quad (1)$$

Там же ст. 131

1,2 – 1,5 м песчанистые глины mgQ<sub>III</sub>

$$M_{34,5} \frac{Cl_{90,6}SO_4 8,8HCO_3 0,6}{(Na + K)79Mg17,4Ca3,6} T - 0,1 \text{ } ^\circ C \quad (2)$$

Там же ст. 131 глинистые илы mQ<sub>IV</sub>

$$M_{35,0} \frac{Cl_{90,1}SO_4 9,0HCO_3 0,5}{(Na + K)79Mg17,6Ca3,4} T - 0,1 \text{ } ^\circ C \quad (3)$$

Придонные воды этого же района Баренцева моря, обладая такой же минерализацией, от 34,9 до 35,42 г/л, характеризуются теми же соотношениями основных компонентов химического состава, которые свойственны поровым водам

Охарактеризованные выше по данным Г.А. Ивановой, А.Е. Рыбалко и М.А. Спиридонова [32] криопэги, при наличии под ними реликтовых многолетнемерзлых пород могут быть отнесены к категории надмерзлотных.

Подмерзлотные криопэги относятся к двум типам. Первый из них формируется близ берегов поднятий в областях интенсивного промерзания донных грунтов при выходе из-под уровня моря. Так, у западного берега о. Земля Александры (архипелаг Земля Франца-Иосифа) на глубине моря 1,9 м, под новообразованными под припайным льдом ММП мощностью 8 м вскрыты рассольные криопэги с температурой – 4,8°С следующего состава [67]:

$$M_{93,6} \frac{Cl_{90,9}SO_4 8,8HCO_3 0,3}{(Na + K)78,2Mg17,8Ca4} T - 4,8 \text{ } ^\circ C \quad (4)$$

Другой тип подмерзлотных криопэгов формируется под толщей реликтовых ММП, находящихся на стадии деградации. При протаивании подошвы толщи ММП формируются слабосоленые или даже почти пресные криопэги с температурами, близкими к нулю.

Распространение мёрзлых пород. Наличие относительно маломинерализованных вод в донных отложениях областей криогенеза определяет возможность новообразований льда и многолетнемерзлых пород даже при относительно незначительных понижениях температуры придонных вод.

Например, для Ямало-Гыданской (Мангазейской) области новейших поднятий характерны новообразования ММП с формированием «kozyрьков» протяженностью от десятков до нескольких сотен метров, например в районе мыса Бурунного [20]. На Западном Ямале прибрежная зона ММП уже на глубине смешивается с сезонномерзлыми, протаивающими после «схода» припайного льда. Н.Ф. Григорьев выделял как участки сплошного распространения новообразованных ММП, например, между прибрежными островами Байдарацкой губы, так и островного, связанного с широко развитыми в прибрежной зоне намывными островами, морскими банками, барами и косами, при промерзании которых на локальных участках обмеления через слой морского льда формируются острова многолетнемерзлых пород мощностью свыше 2 м.

Мерзлые породы в настоящее время образуются под стамухами, «сидящими» на морском дне на глубинах до первых метров. Однако, переход этих новообразований в ранг ММП, вероятно осуществляется только в исключительных случаях.

К криогенным новообразованиям преимущественно сезонного характера несомненно относятся донные льды, рассмотренные с привлечением новых данных А.Н. Хименковым и А.В. Брушковым [84]. К новообразованиям криолитозоны относятся экзотические диапирообразные формы в виде эллипсовидных поднятий высотой до 12 – 14 м с ледяным ядром, напоминающие гидролакколиты. Обнаружены в Печорском заливе Баренцева моря на морских глубинах 60 – 75 м [8] и описанные также В.П. Мельниковым и В.И. Спесивцевым [53].

Скважина, пробуренная на вершине подводного ледяного бугра, названного авторами по аналогии с такими же явлениями в море Бофорта «пинго», на

глубину 100 м полной мощности ледогрунта, залегающего под 1 – 6 метровым слоем суглинистых образований, не вскрыла. В.П. Мельников с соавторами [54] справедливо связывает формирование ледового ядра пинго со струйной дегазацией углеводородов.

К категории новообразованных, по всей видимости, можно отнести ММП, залегающие вблизи донной поверхности и вскрытые скважиной на Баренцевоморском шельфе в точке с примерными координатами 76° с.ш., 40° в.д. на глубине моря 230 м [8]. Их формирование можно связать с изменением знака придонных температур с положительного во время оптимума голоцена на отрицательные при последующем похолодании и промерзании отложений со слабосолеными водами подобными по составу и минерализации, отраженным в формуле 5, образовавшимися за счет протаивания льдистой субаквальной криолитозоны. Палеоглубины описываемой точки по аналогии с Новоземельским шельфом в момент позднеголоценового промерзания могли быть на 100 – 150 м меньше, чем современные.

Формирование второго от поверхности горизонта субаквальной ММП реликтовой многолетнемерзлой зоны связано с промерзанием во время последней позднеплейстоценовой регрессии. Минимальное положение уровня отступающего моря приходится на середину Сартанского века 19 – 18 тыс. л. назад.

Промерзание охватило почти всю площадь шельфа Карского моря до широт 82 – 83,5° с.ш., исключая дно окраинно-шельфовых желобов (трогов) Воронина и Св. Анны. Промерзание Баренцевоморского шельфа распространилось примерно до этих же широт, исключая днища трогов Воронина, Баренца и ряда внутришельфовых желобов Центральной Котловины. Промерзание Баренцевоморского шельфа имело фрагментарный характер также вследствие развития на промерзающей суше серии ледниковых покровов [5].

Появлению собственно субаквальных ММП предшествовало разрушение верхнего горизонта, во многих случаях, наиболее льдистых пород, образование береговых уступов, подмываемых морем, захоронение «мерзлоты» под донные осадки. Такие процессы на отдельных участках интенсивно отступающих берегов происходят и в настоящее время с образованием на глубинах до 15 – 26 м прибрежных субаквальных массивов ММП мощностью до 40 – 100 и более метров. Общая мощность прибрежной криолитозоны достигает 100 – 150 м.

Глубина залегания реликтовых ММП вблизи берега составляет от 2 – 4 до 23 – 43 м при мощности 25 – 90 м [8, 53]. В Байдарацкой губе по данным электроразведочных работ, глубины залегания кровли ММП 14 – 26 м, мощность ММП около 100 м. На расстоянии свыше 100 км от берегов Ямала (Русановская площадь) острова реликтовых ММП вскрыты на глубине моря 109 – 114 м под слоем немерзлых глинистых илов и супесчано-суглинистых отложений с прослоями песков, залегающих до поддонной глубины 10 – 13,5 м слоями льда многолетнемерзлые породы. Мощность ММП от 8,5 до 19,5 м, по косвенным признакам (при осмотре керна) возможная мощность ММП 82,5 м, при общей мощности криолитозоны 40 – 50 м [53]. По данным интерпретации электрометрических работ, выполненных в рейсах ПМГРЭ с участием ВНИИОкеангеология субаквальные ММП мощностью до 5 – 30 м могут иметь распространение в самой восточной (Приновоземельской) части

Баренцевоморского шельфа и на шельфе Карского моря вплоть до широт 75 – 76° на поддонных глубинах 5 – 50 м [87].

В отношении сплошности залегания субаквальных ММП существуют различные точки зрения, что вполне объяснимо с учетом степени геокриологической изученности Западно-Арктического шельфа. Анализируя новые данные по геокриологическим условиям Баренцево-Карского шельфа совместно с распределением полей ММП различной сплошности на суше, отраженном на геокриологической карте СССР [68], можно сделать вывод о продолжении областей сплошного и прерывистого распространения ММП при постепенном переходе по мере удаления от берегов, сложенных мощной толщей рыхлых отложений, к областям островного и редкоостровного развития ММП. При этом принципиальных расхождений в этом отношении с построениями А.Л. Чеховского [85], В.А. Соловьева [14], Л.А. Жигарева [27], В.П. Мельникова и В.И. Спесивцева [53], В.Н. Бондарева с соавторами [8], и других исследователей, придерживающихся концепции позднеплейстоценового формирования основной массы реликтовых ММП, нет.

Нельзя исключать возможности присутствия второго, видимо, реликтового слоя ММП на шельфе по аналогии с сушей, где второй слой ММП обнаружен у южной границы мерзлой зоны на глубине 70 – 200 м в Европейской части России [14] и 120 – 194 м – в Западной Сибири. Глубина залегания подошвы 250 – 600 м. Такие реликты могут быть обнаружены на шельфе. Так, подошва реликтовой толщи ММП в море Бофорта залегает на глубине свыше 600 м [Романовский, 1993; Taylor, 1996]. Не исключено, что нижняя часть реликтовой зоны ММП частично сохранилась в виде третьего слоя «мерзлоты» и на шельфе. Нижний реликтовый слой «мерзлоты», по всей видимости, находится в зоне с положительными температурами и сложен, как считают Н.Б.Какунов и др.[33], газогидратоносными отложениями и залежами гидратов, устойчивыми термобарически в данных условиях.

### **Горные породы и донные осадки, инженерно-геологическая стратификация и таксономия**

Морские осадки и отложения, представленные, в основном, илами и текучими глинами, характеризуются весьма слабой уплотнённостью (плотность скелета – до 0,3-0,8 г/см<sup>3</sup>), высокими пористостью (до 90-92%), влажностью и относительно малой прочностью (не более 20-30 кПа). Относясь к породам особого состава, состояния и свойств, имеющим предельно малую степень литификации, илы обычно (в частности, по классификации Ф.П.Саваренского) считались малопригодными для использования в качестве естественных оснований инженерных сооружений. По инженерно-геологической классификации В.Д.Ломтадзе [51] практически все тонкодисперсные донные осадки океана относятся к группе весьма слабых отложений предельно малой степени литификации, к породам особого состояния и свойств, что неблагоприятно для использования в качестве оснований сооружений без специальной подготовки.

Такой подход, объяснимый на этапе развития инженерно-геологических исследований преимущественно в континентальной и субконтинентальной зонах (примерно до середины 1970-х годов), когда «слабые» грунты обычно изымались из основания, или не учитывались в расчётах. После начала широкомасштабного

изучения глубоководных областей океана (в связи с необходимостью оценки инженерно-геологических условий разработки железомарганцевых конкреций Тихого океана), освоения шельфовых нефтегазоперспективных площадей, необходимость инженерно-геологического изучения донных грунтов стала одной из актуальнейших задач инженерной геологии.

Учитывая то, что илы Западно-Арктического шельфа, как впрочем, многие илы Мирового океана, согласно критерию Аттерберга, относятся к грунтам текучей консистенции ( $W > W_L$ ), у морских илов консистенция не может выступать в качестве критерия для выделения инженерно-геологических горизонтов. Возникла необходимость доработки существующих классификаций применительно к условиям морского дна, в первую очередь в части более дробного разделения грунтов «предельно малой степени литификации» [63]. Я.В.Неизвестнов предложил специальную инженерно-геологическую классификацию морских грунтов (табл. 3), где разделение связных грунтов с коагуляционными связями проводится по их прочности, выраженной сопротивлением вращательному срезу грунта естественного сложения –  $\tau_{max}$ .

В основу создания инженерно-геологической классификации донных грунтов Мирового океана была положена классификация Ф.П.Саваренского-В.Д.Ломтадзе [51] с учётом классификации Е.М.Сергеева [75] и ГОСТ 25100-95. Основные таксономические единицы, выделяемые по системе признаков: класс, группа, подгруппа, тип, вид и разновидность.

*Классы* обособлены по устойчивости грунтов под воздействием нагрузок от сооружений: устойчивые (практически недеформируемые), относительно устойчивые (слабо деформируемые при соответствии нагрузок физико-механическим свойствам) и Неустойчивые (подвергающиеся интенсивным деформациям до полного разрушения при изменении условий окружающей среды).

*Группы* устойчивых и относительно устойчивых грунтов выделены по характеру структурных связей: твёрдые скальные (кристаллизационные и прочные цементационные связи), относительно твёрдые полускальные (преимущественно цементационные структурные связи), рыхлые (преимущественно механические связи), мягкие (преимущественно ближние коагуляционные связи) и слабые (преимущественно дальние коагуляционные связи). Группы класса неустойчивых грунтов выделяются по особенностям их свойств и состава, определяющим причины их неустойчивости: растворимые и выщелачиваемые; мёрзлые, льдистые и содержащие кристаллогидраты; обогащённые органическим веществом.

*Подгруппы* выделяются по прочности грунтов, определяющей их несущую способность. Группа рыхлых пород разбита на две подгруппы исходя из значений угла внутреннего трения в водонасыщенном состоянии. Все морские илы, глины, суглинки, супеси по этой классификации разделены на две группы и 6 подгрупп. При этом наименования подгрупп мягких грунтов принято в соответствии с разделением глинистых отложений по консистенции, исходя из эквивалентных значений удельных сопротивлений пенетрации, предложенных В.Ф.Разорёновым [51], но определённых для образцов с нарушенной структурой.

Инженерно-геологические подгруппы подразделяются на генетические типы, а генетические типы, в свою очередь, - литологические виды.

Таблица 3

Инженерно-геологические классы, группы и подгруппы донных грунтов морского дна  
(по Я.В.Неизвестнову, 1989 г., с дополнениями [56])

Классы	Группы	Подгруппы
I. Устойчивые	Ia. Твёрдые скальные (кристаллизационные и прочные цементационные связи)	Весьма высокой прочности ( $R_{сж} > 400$ МПа)
		Высокой прочности ( $R_{сж}$ от 50 до 400 МПа)
II. Относительно устойчивые	IIa. Относительно твёрдые полускальные (преимущественно цементационные связи)	Прочные ( $R_{сж}$ от 15 до 50 МПа)
		Средней прочности ( $R_{сж}$ от 2,5 до 15 МПа)
		Малой прочности ( $R_{сж}$ от 0,5 до 2,5 МПа)
	IIб. Рыхлые (преимущественно механические связи)	Относительно прочные ( $\varphi > 30^\circ$ )
		Относительно слабые ( $\varphi < 30^\circ$ )
	IIв. Мягкие (преимущественно ближние коагуляционные связи)	Полутвёрдые ( $\tau > 50$ кПа)
		Тугопластичные ( $\tau$ от 20 до 50 кПа)
		Мягкопластичные ( $\tau$ от 10 до 20 кПа)
		Текучепластичные ( $\tau$ от 5 до 10 кПа)
	Слабые (преимущественно дальние коагуляционные связи)	Вязкотекучие ( $\tau$ от 1 до 5 кПа)
Жидкотекучие ( $\tau < 1$ )		
III. Неустойчивые	IIIa. Растворимые и выщелачиваемые	Слаборастворимые (растворимость $< 1$ г/л)
		Сильнорастворимые (растворимость $> 1$ г/л)
	IIIб. Мёрзлые льдистые и содержащие кристаллогидраты	Слабопросадочные (относительная просадочность при оттаивании под нагрузкой 0,1 МПа 0,01 – 0,10)
		Сильнопросадочные (относительная просадочность при оттаивании под нагрузкой 0,1 МПа свыше 0,10)
	IIIв. Обогащённые органическим веществом	Слабообогатённые (с содержанием органического вещества 0,10-0,25)
		Среднеобогатённые (с содержанием органического вещества 0,25-0,50)
		Сильнообогатённые (с содержанием органического вещества свыше 0,50)

Среди слабых, мягких и рыхлых грунтов Западно-Арктического шельфа выделяют инженерно-геологические виды: илы глинистые, суглинистые, супесчаные; глины, суглинки, супеси, пески, крупнообломочные отложения. К илам относятся все современные (голоценовые) осадки, имеющие влажность, превышающую влажность на границе текучести, и коэффициент пористости более 0,9.

*Илы глинистые* содержат свыше 30% глинистых ( $< 0.002$  мм) частиц (по В.В.Охотину). К ним могут быть отнесены обычно выделяемые океанологами

современные пелиты и алевропелиты (илы пелитовые и алевропелитовые), песчано-алевро-илистые и алевро-илисто-песчаные осадки. Название «глинистый ил» подтверждают число пластичности, превышающее 17%, показатель текучести и коэффициент пористости свыше 1,5.

*Илы суглинистые*, как правило, содержат 10-30% глинистых (< 0.002 мм) частиц. К ним могут быть отнесены алевролиты, илы песчанистые, илисто-песчано-алевровитовые осадки. Название «суглинистый ил» подтверждают число пластичности 7-17%, показатель текучести и коэффициент пористости свыше 1,0.

*Илы супесчаные* содержат от 3 до 10% глинистых (< 0.002 мм) частиц. К ним могут быть отнесены обычно выделяемые океанологами илистые (заиленные) и алевроитово-илистые пески. Название «супесчаный ил» подтверждают число пластичности 2-7%, показатель текучести, превышающий 1 и коэффициент пористости свыше 0,9.

*Глины* относятся к доголоценовым отложениям, содержащим свыше 30% глинистых (< 0.002 мм) частиц. Могут выделяться глины тяжёлые (свыше 60% глинистых частиц) и глины пылеватые (30-60% глинистых частиц, пылеватых частиц 0,002-0,05 мм больше, чем песчаных 0,05-2 мм). Название, используемое океанологами, - пелиты или алевропелиты. Название «глина» подтверждается числом пластичности, превышающем 17%.

*Суглинки* относятся к доголоценовым отложениям, содержащим 10-30% глинистых частиц. Могут выделяться суглинки пылеватые (пылеватых частиц больше, чем песчаных). Океанологи обычно называют суглинки алевролитами. Название «суглинок» подтверждается числом пластичности от 7 до 17%.

*Супеси* относятся к отложениям, содержащим от 3 до 10% глинистых частиц. Могут выделяться супеси пылеватые (пылеватых частиц больше, чем песчаных). К супесям могут быть отнесены обычно выделяемые океанологами илистые (заилённые) и алевроитово-илистые пески. Название «супеси» подтверждается числом пластичности от 1 до 7%.

*Пески* относятся к отложениям, содержащим менее 3% глинистых частиц, песчаных частиц больше, чем пылеватых. Могут выделяться пески пылеватые (частиц крупнее 0,1 мм – не более 75%). Грунты называются гравелистыми, если в них содержится от 10 до 50% гравийных (2-20 мм) частиц.

В основу предлагаемой автором оценки инженерно-геологических условий региона положено разделение геологического разреза на инженерно-геологические комплексы, горизонты и мегагоризонты.

Термин «инженерно-геологический комплекс» принят в формулировке А.А.Маккавеева [77]. *Инженерно-геологические комплексы* содержат толщи горных пород или донных осадков, расположенных в стратиграфической последовательности, характеризующихся сходством (выражающимся в принадлежности грунтов комплекса к одной-двум инженерно-геологическим группам по классификации Я.В.Неизвестнова [56]) или закономерной изменчивостью инженерно-геологических характеристик. Инженерно-геологические комплексы состоят из одного или нескольких горизонтов. Например, выделяемый на Западно-Арктическом шельфе России инженерно-геологический комплекс современных слабых и рыхлых покровных грунтов морского, аллювиально-морского, ледниково-морского, морского биогенного и аллювиально-делювиального происхождения» содержит группы слабых и рыхлых грунтов.

*Инженерно-геологические горизонты* характеризуются сходными условиями образования горных пород или донных осадков, близостью их фациально-литологического состава и возраста. Горизонт может состоять целиком из однородных грунтов, входящих в одну подгруппу или, сохраняя преобладание одной подгруппы (реже – двух). Выделение инженерно-геологических горизонтов применимо для среднемасштабных и мелкомасштабных карт. На обзорных инженерно-геологических картах масштаба мельче 1:1500000 целесообразно ограничиться выделением инженерно-геологических комплексов и мегагоризонтов.

*Инженерно-геологические мегагоризонты* занимают промежуточное положение между комплексами и горизонтами, объединяют один или два (реже – три) горизонта, чередующихся на обширных площадях.

### **Оценка гидрогеологических условий**

Основу оценки *гидрогеологических условий* зоны арктических шельфов составляют структурно-гидрогеологический (системно-структурный) подход, основанный на теоретических разработках М.М.Василевского, И.К.Зайцева и Н.И.Толстихина, седиментационная теория происхождения глубинных подземных вод и теоретические положения региональной гидрогеологии относительно зональности гидрогеологических структур и закономерностей водообмена.

В основе выделения гидрогеологических структур лежит господствующий тип скоплений подземных вод. Различается два основных типа гидрогеологических структур и соответствующих им бассейнов подземных вод: артезианские бассейны и гидрогеологические массивы. Артезианский бассейн представляет собой гидрогеологическую структуру с преимущественным развитием напорных пластовых вод. Гидрогеологический массив представляет собой бассейн, для которого характерно преобладание трещинных (трещинно-жильных) вод. Для бассейнов переходного типа, в которых трудно отдать предпочтение пластовым или трещинным водам, И.К.Зайцевым и Н.И.Толстихиным введено понятие адартезианский бассейн и гидрогеологический адмассив.

Основные положения методики прогноза гидрогеологических условий зоны арктических шельфов разработаны Я.В.Неизвестным. Для подземных вод нижнего гидродинамического этажа (зона весьма затруднённого водообмена) характерно физико-химическое равновесие с вмещающими породами; химический состав вод, в соответствии с седиментационной теорией формирования глубоководных вод, определяется формационной принадлежностью вмещающих пород. На особенности солевого состава подземных вод этого этажа основное влияние оказывают химизм вод седиментационного бассейна, процессы литогенеза и преобразования органического вещества, что должно учитываться при прогнозе их состава и свойств.

Формирование современного химического состава подземных вод, образующих скопления порового-пластового и трещинно-порово-пластового типа, в водоносных комплексах терригенных отложений мезозойского и кайнозойского возраста, отложившихся в бассейнах нормальной и пониженной солёности, обусловлено катагенетическими и диагенетическими

преобразованиями в системе «минеральная часть – рассеянное органическое вещество – поровая вода». Наибольшее влияние на состав вод при этом оказывает отжатие в водоносные пласты слабоминерализованных, но богатых растворёнными веществами вод за счёт катагенетической дегидратации глин, что может вызывать трёх-семикратное разбавление пластовых вод [18]. В анионном составе увеличивается содержание карбонатов, гидрокарбонатов, кремневой кислоты и органических кислот; катионный обмен приводит к значительному уменьшению относительного содержания магния. Формируются слабо- и среднесолёные воды, обладающие повышенной и высокой коррозионной активностью (в основном – по содержанию органического вещества).

Для водоносных комплексов трещинно-пластового и трещинно-порово-пластового типов, сложенных терригенными и вулканогенно-терригенными отложениями верхнего палеозоя, триаса, отчасти юры и нижнего мела, образовавшимися в бассейнах нормальной солёности, формирование пластовых вод произошло на более высокой стадии катагенеза, при более высокой степени метаморфизма органического вещества. Подземные воды лишаются гидрокарбонатов за счёт их выпадения в осадок (вместе с щёлочноземельными металлами). При этом образуются сильносолёные существенно хлоридные натриевые агрессивные воды со средней и повышенной коррозионной активностью к металлам.

В водоносных комплексах трещинно-карстово-пластового и трещинно-пластового типов палеозойских, отчасти рифейских и триасовых отложений, в составе которых присутствуют доломиты, гипсы и каменная соль, образовавшиеся в солеродных бассейнах, формирование солевого состава пластовых вод обусловлено преобразованием седиментационных и погребённых вод в процессе литогенеза осадков. Состав и минерализация пластовых вод здесь близки к составу вод солеродных бассейнов, метаморфизация седиментационных и погребённых вод в процессе литогенеза заключается в их десульфатизации и в частичном замещении натрия и магния кальцием (что обусловлено выпадением в осадок гипса и катионным обменом). Для десульфатизации характерны процессы жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий с выделением сероводорода. Таким образом, при осадконакоплении в солеродных бассейнах, характеризующихся доломитовой и гипсовой стадиями галогенеза, формируются хлоридные кальциево-натриевые воды с минерализацией 70-275 г/кг, иногда газифицируемые сероводородом, а в солеродных бассейнах, достигших галитовой и карналитовой стадий галогенеза, образуются весьма крепкие и сверхкрепкие собственно хлоридные кальциевые рассолы, минерализация которых превышает 270-350 г/кг [28]. Все рассолы галогенных формаций обладают сильной агрессивностью к бетону и высокой коррозионной активностью к металлам.

Верхняя часть разреза гидрогеологических структур шельфа относится к зоне затруднённого водообмена; в течение плейстоцена- голоцена полный цикл водообмена осуществлялся 1-2 раза; характер водообмена, определяемый циклами промерзания – субаквального оттаивания, назван «криогенным». Во время позднеплейстоценовой регрессии донные отложения подверглись интенсивному промерзанию с сепарацией минерализованных вод, насыщающих породы, на пресный или слабосолёный лёд и рассольные воды, вытесняемые перед фронтом промерзания. При погружении под уровень моря мёрзлая зона подверглась деградации с формированием пресных и слабосолёных подземных

вод за счёт таяния льда. Одновременно за счёт конвекции происходит замещение в отложениях пресных и слабосолёных вод морскими, обладающими более высокой плотностью. Для криогенного водообмена характерны пёстрые минерализация и состав вод.

Водоносные комплексы зоны затруднённого водообмена, не промерзавшие во время плейстоценового похолодания, характеризуются инфильтрационным типом водообмена. К настоящему времени в верхнем гидродинамическом этаже (зона затруднённого водообмена) мощностью свыше 1000-1400 м (на береговом урезе, исходя из данных Р.С.Кононовой [46]) произошло полное замещение инфильтрационных вод атмосферного происхождения морскими, с соответствующими минерализацией и химическим составом.

Пластовые давления, в основном, равны гравитационным напряжениям в горных породах (0,10-0,23 атм/м в водоносных комплексах, приуроченных к эпипальпейскому и эпигерцинскому чехлу, сложенному существенно нескальными горными породами, с глубины 2-3 км). Аномально высокое пластовое давление (> 0,23 атм/м) формируется за счёт тектонических напряжений вблизи областей горообразования.

### **Современные геологические процессы и явления, классификация и картографирование**

Основоположник инженерной геологии Ф.П.Саваренский (1937 г.), а также В.Д.Ломтадзе (1977 г.), Я.В.Неизвестнов (1979 г.) и др. в своих классификациях подразделяют геологические процессы в первую очередь на три основных типа: геоморфологический, петрографический (петрологический) и тектонический. При дальнейшем подразделении В.Д.Ломтадзе разделил понятия «процессы» и «явления», что, по мнению автора, не совсем корректно. Об этом же справедливо упоминают А.И.Шеко, В.С.Круподёров и Д.А.Тимофеев в монографии «Опасные экзогенные процессы», вышедшей под редакцией академика В.И.Осипова [69]. Действительно, одни и те же геологические процессы при исследовании разных сторон инженерно-геологических условий попеременно могут рассматриваться то как следствие (т.е. явление), то как причина другого движения (т.е. процесс). Более логично не разделять эти понятия, тем более что характерной чертой диалектической концепции причинности является признание обратного воздействия следствия на причину, что для открытых природных систем подтверждается принципом Ле-Шателье-Брауна: любой процесс, являющийся следствием нарушения равновесия, направлен так, чтобы равновесие было восстановлено.

С учётом системного подхода разработаны классификации, построенные на генетической основе и содержащие несколько иерархических уровней, авторами которых являются И.В.Попов (1959 г.), П.Н.Панюков (1978 г.), Г.К.Бондарик (1981 г.), Г.С.Золотарёв (1983 г.), Л.Д.Белый (1985 г.), А.И.Шеко (1999 г.) и др. В предлагаемой автором классификации опасных геологических процессов выделяются элементы иерархии: группа – вид – разновидность (табл. 4).

Группа эндогенных процессов и явлений обусловлена глубинными перемещениями горных пород, источником которых является внутренняя энергия Земли. Виды выделяются по характеру проявления эндогенных процессов, выражаемому скоростью перемещения массивов горных пород в земной коре

Группа *литодинамических* процессов и явлений обусловлена придонными перемещениями грунтовых масс. Виды выделяются по главному внешнему агенту, вызывающему перемещения: энергии движущейся морской воды (под влиянием океанографических факторов: течений, волн и т.д.) или силы гравитации, которая определяется характером рельефа и вызывает разнообразные склоновые процессы.

Группа *геокриологических* процессов и явлений обусловлена промерзанием геологической среды и воздействием плавучих льдов. Отсюда – два основных вида процессов и явлений: мерзлотные, связанные с промерзанием геологической среды, и экзарационные (связанные с механическим и криогенным воздействием на донные грунты айсбергов, торосов, припайного льда и д.д.).

Группа *физико-химических и биохимических* процессов обусловлена содержанием газов и биогенных веществ в грунтах, виды выделяют по характеру процесса: выделение и миграция свободных газов или накопление гуминовых кислот, битумизация, другие виды воздействия.

На карте развития опасных для инженерных сооружений геологических процессов и явлений следует использовать различающиеся легенды для шельфовой части и береговой зоны (в зонах берегового примыкания трубопроводов, строительства портовых сооружений и др.). Определяющей фоновую раскраску (крап) группой геологических процессов и явлений, по всей видимости, следует выбрать такую группу, которая имеет практически повсеместное распространение (возможно, в разных формах-проявлениях) и существенную опасность для инженерных сооружений. По мнению автора, такое воздействие на геологическую среду оказывают агенты геосферы, располагающейся непосредственно над земной корой: гидросферы в шельфовой части и атмосферы – в прибрежной.

Самое активное и повсеместное воздействие на геологическую среду шельфа оказывает динамика водной морской среды, определяющая характер литодинамических процессов и развитие зон, например:

- интенсивного размыва с выходами на поверхность крупнообломочных пород, доголоценовых мягких и полускальных пород;
- интенсивной аккумуляции с преимущественным развитием песков большой мощности или глинистых осадков;
- чередования размыва с аккумуляцией, с преимущественным развитием песков мощностью до 2 м и т.д.

Кроме того, на субмаринной части площади показывают: развитие обвалов и осыпей на крутых скальных склонах; развитие оползней и сплывов, границы развития термокарста, термоабразии (абразии) берегов, айсбергового вспахивания и торошения и т.д.

На береговой части применительно к Западно-Арктическому шельфу России наибольшее воздействие на геологическую среду шельфа оказывает криогенный фактор атмосферы, определивший зоны развития морозного выпучивания, термокарста, криогенного выветривания, солифлюкции и т.д.

Таблица 4

Инженерно-геологическая классификация опасных геологических процессов и явлений Западно-Арктического шельфа России  
(С.А.Козлов, 2005)

Группа	Вид	Разновидность	Характер воздействия на инженерные сооружения
ЭНДОГЕННЫЕ, связанные с глубинными перемещениями горных пород	Землетрясения (быстрые перемещения горных пород)	Выделяется по балльности сотрясений	Повреждения нефтегазопромысловых сооружений, разрывы трубопроводов, деформации скважин
	Субвертикальные движения земной коры (медленные перемещения горных пород)	Выделяется по абс.значениям перемещений	Малоизучен, определяет интенсивность абразии берегов
ЛИТОДИНАМИЧЕСКИЕ связанные с придонными перемещениями грунтовых масс	Гидродинамические (связанные с движением морских вод)	Размыв, аккумуляция, их чередование, абразия берегов	Разрушение грунтовых оснований, занос, заиление
	Гравитационные (связанные со склоновыми процессами)	Обвалы, осыпи, оползни, сплывы	Механические повреждения сооружений, разрушение оснований, погребение
ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ, связанные с промерзанием геологической среды и воздействием плавучих льдов	Мерзлотные (связанные с промерзанием геологической среды)	Образование СМП, ММП, гидролакколитов, термокарст, термоабразия берегов	Разрушение инженерных сооружений и грунтовых оснований
	Экзарационные (связанные с воздействием плавучих льдов)	Айсберговое выпахивание, торошение, воздействие припайного льда	Разрушение линейных инженерных сооружений и их оснований
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ, связанные с содержанием газов и биогенных веществ в грунтах	Выделение и миграция свободных газов	Дегградация газовых гидратов, просачивание из газоносных толщ, разложение органики	Разупрочнение илистого-глинистых оснований, переход песков в пльвунное состояние
	Накопление гуминовых кислот, битумизация	Выделяется по содержанию компонентов	Повышение дисперсности и разупрочнение грунтовых оснований

## Техногенные воздействия и устойчивость геологической среды

Вопросы систематизации техногенных воздействий на геологическую среду начали разрабатываться с 50-60-х годов прошлого века. В настоящее время, по мнению В.А.Королёва [47], ни одна из разработанных классификаций техногенного воздействия не является общепринятой и всеобъемлющей в смысле охвата воздействий разных категорий. Большой вклад в систематизацию техногенных воздействий на геологическую среду внесли Ф.В.Котлов (1978 г.), М.Арну (1984 г.), Г.А.Голодковская и Ю.Б.Елисеев (1989 г.), В.Д.Ломтадзе (1989 г.), И.П.Иванов (1989 г.), В.Т.Трофимов, В.А.Королёв и А.С.Герасимова (1995 г.), В.И.Осипов и др. (1999 г.).

Влияние техногенных факторов на геологическую среду Западно-Арктического шельфа России по своим масштабам и возможным последствиям уже в первой четверти XXI века может стать соизмеримым с природными геологическими процессами. При этом, по мнению В.Д.Ломтадзе, «...все виды техногенных процессов и явлений, возникающих при выполнении строительных и горных работ и других видов хозяйственного использования территорий, имеют, главным образом, геологическую природу». Тезис во многом подтверждается и для условий шельфа. Так, техногенные землетрясения, вызванные извлечением подземных флюидов, по своему характеру и геологическим последствиям мало отличимы от природных. Воздействие техногенных механических процессов и явлений при донном тралении, разработке россыпных полезных ископаемых, может, с некоторыми допущениями, сравниваться с экзарационным воздействием на дно плавучих льдов. Отличие от природных воздействий на донный грунт может наблюдаться, в основном, при полиэлементном загрязнении, особенно при участии ксенобиотиков (включающих около 6 миллионов видов). На представлениях о геологической близости природных и техногенных процессов и явлений основана предлагаемая классификация (табл. 5).

В случае необходимости допускается совмещение на карте природных и техногенных процессов и явлений, учитывая общность их классификационных показателей..

Поведение геологической среды при техногенных воздействиях характеризуется термином «устойчивость», анализ которого даётся в работах Р.Э.Дашко (1987 г.), А.Д.Арманд (1988 г.), Г.А.Голодковской и Ю.Б.Елисеева (1989 г.), А.С.Герасимовой и В.А.Королёва (1994 г.), В.В.Кюнтцеля (1995 г.) и др. Под устойчивостью геологической среды в общем плане понимают её способность сохранять ритмичную последовательность постоянно действующих потоков энергии и вещества в пределах естественного колебания её параметров при внешнем, в том числе техногенном воздействии. Взаимодействие техногенного воздействия, разнообразного по своей природе, механизму, длительности и интенсивности влияния, с геологической средой выражается в форме природно-техногенной системы (ПТС).

Таблица 5

Инженерно-геологическая классификация опасных техногенных процессов и явлений Западно-Арктического шельфа России (С.А.Козлов, 2005)

Группа	Вид	Разновидность	Источник техногенного воздействия
ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ, связанные с глубинными перемещениями горных пород	Техногенные землетрясения (быстрые перемещения горных пород)	Вызванные откачкой подземных флюидов	Нефтегазодобывающие и гидрогеологические скважины
		Вызванные испытаниями ядерного оружия	Испытательный ядерный заряд
	Субвертикальные движения земной коры (медленные перемещения горных пород)	Вызванные откачкой подземных флюидов	Нефтегазодобывающие и гидрогеологические скважины
ЛИТОДИНАМИЧЕСКИЕ, связанные с придонными перемещениями грунтовых масс	Гидродинамические (связанные с движением морских вод)	Размыв, аккумуляция, их чередование, абразия берегов при техногенном геодинамическом воздействии	Нефтегазодобывающие и гидрогеологические скважины (при откачке флюидов)
	Гравитационные (связанные с уплотнением грунтов и склоновыми процессами под воздействием инженерных сооружений)	Обвалы, осыпи, оползни, сплывы при техногенном геодинамическом воздействии	
		Неравномерное уплотнение оснований, обвалы, осыпи, оползни, сплывы при локальном техногенном воздействии	Механическое воздействие на дно (придонные инженерные сооружения, затонувшие АПЛ, траление и т.д.)
ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ, связанные с промерзанием геологической среды	Мерзлотные (связанные с промерзанием грунтов и обледенением конструкций)	Термокарст, термоабразия берегов	Техногенные тепловые поля
		Обледенение и вмержание в грунт инженерных сооружений	Подводные трубопроводы в зонах отрицательных температур придонных вод
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ, связанные с содержанием газов и загрязняющих веществ в грунтах	Выделение и миграция свободных газов	Аградация и деградация газовых гидратов; просачивание из газоносных толщ, из трубопроводов; разложение органики	Техногенные тепловые поля, нефтегазодобывающие и гидрогеологические скважины
	Полиэлементное техногенное загрязнение	Выделяется по содержанию компонентов	Суммарное геохимическое воздействие на грунт техногенных загрязнений

Выделяют три возможных принципа конкретизации понятия «устойчивость геологической среды» (по Голодковской и Елисееву [19]):

1. Устойчивость относительно определённого вида воздействия (механического, химического и т.д.).
2. Устойчивость как изначальное свойство геологической среды определённой территории, не зависящее от внешнего воздействия.
3. Устойчивость отдельных компонентов геологической среды техногенным воздействиям.

При региональном инженерно-геологическом изучении нефтегазонасной провинции шельфа следует выявлять характер и расположение процессов возможного нарушения устойчивости геологической среды при определённом виде природно-техногенного воздействия, отнесённого к числу опасных. Опасные геологические и природно-техногенные процессы и явления на морском дне и в береговой зоне, развитие которых может повлечь за собой нарушение устойчивости геологической среды и разрушение инженерных сооружений с существенным нарушением экологического равновесия природной среды, могут быть отнесены к новому направлению геоэкологии – *инженерной экогеологии шельфа* [42], или инженерной геоэкологии по Г.А.Голодковской и Ю.Б.Елисееву).

Устойчивость геологической среды Западно-Арктического шельфа России применительно к техногенным воздействиям определяется объёмом подвергаемого внешнему воздействию грунтового массива (размер ПТС), характером воздействия (видом техногенного процесса-воздействия), фактором и порогом устойчивости (минимальным взаимодействием, приводящим к необратимым изменениям геологической среды). Основные параметры устойчивости геологической среды Западно-Арктического шельфа России приведены в таблице 6.

Размер частной ПТС дифференцируется по количеству вовлечённых инженерно-геологических подразделений:

1. ПТС мегауровня, затрагивающий горные породы и отложения более 3-х инженерно-геологических комплексов (ИГК), общей мощностью до нескольких сотен (тысяч) метров;
2. ПТС мезоуровня - 2-3-х инженерно-геологических комплексов, общей мощностью до нескольких десятков метров;
3. ПТС микроуровня – 1-2-х инженерно-геологических комплексов общей мощностью не более 5-10 м

*Мегауровень.* Устойчивость геологической среды нефтегазовых сооружений на мегауровне может быть оценена прежде всего по величине возможной осадки донной поверхности к концу срока эксплуатации; при значительной и (или) неравномерной осадке возникает угроза устойчивости инженерных сооружений. Снижение пластовых давлений может также привести к возникновению землетрясений даже в считавшихся ранее сейсмически неактивных зонах, что наблюдалось, например, в 1987 году в Западной Сибири [36].

Расчёт величины осадки возможен при наличии информации по значениям пластовых давлений и их изменениям в течение срока эксплуатации, по мощности, составу, физико-механическим и фильтрационным свойствам пород-

Таблица 6

Параметры устойчивости геологической среды Западно-Арктического шельфа России к техногенным воздействиям (С.А.Козлов, 2005)

Размер ПТС	Характер техногенного воздействия	Вид техногенных процессов	Состав ПТС
Мегауровень n (10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup> ) м	Откачка подземных флюидов	Техногенные землетрясения	4-5 ИГК
		Формирование мульд оседания, трещин отрыва, осадка донной поверхности	3-4 ИГК
	Техногенные тепловые поля	Деградация газовых гидратов, просачивание газов из нижних толщ	3-4 ИГК
Мезоуровень n 10 <sup>1</sup> м	Давление на грунтовое основание	Неравномерная осадка донной поверхности	2-3 ИГК
Микроуровень n 10 <sup>0</sup> м	Криогенное воздействие на грунт	Вмерзание трубы в грунт	1 (2) ИГК
	Механическое воздействие труб, линий ВОС, затогнувших АПЛ и др.	Обвалы, осыпи, оползни, сплывы	1 (2) ИГК
	Разработка месторождений строительных материалов, россыпей, ракушняка и др.	Изменение литодинамического режима акватории	1(2) ИГК
	Траление дна	Механическое воздействие на грунт	1 ИГК
	Полиэлементное техногенное загрязнение	Изменение физико-механических свойств поверхностных грунтов	1 ИГК

коллекторов и покрышек, перекрывающих эксплуатационные нефтегазовые и контактирующие с ними водоносные горизонты.

*Мезоуровень.* Устойчивость геологической среды нефтегазовых сооружений на мезоуровне связана, в первую очередь, с давлением на дно нефтегазодобывающих платформ. Современные морские нефтегазопромысловые сооружения (плавающие буровые установки и морские ледово-стойкие стационарные платформы - ПБУ и МЛСП), которые планируют к использованию на Баренцевом море (по материалам ЦКБ «Рубин»), представляют собой сложные инженерные конструкции, сочетающие в себе специфику морского судна ледового класса и ледово-стойкого морского гидротехнического сооружения.

Оказывающие существенное давление на морское дно МЛСП имеют разновидности: многоопорные и одноопорные («монопод») [13]. К числу многоопорных платформ относится «Гломар Бофорт СИ 1», состоящая из нижнего стального основания сечением 90х95 м, высотой 13,4 м и массой 35 тыс. т, а также верхней палубной баржи длиной 88,5 м, шириной 41,5 м, высотой 7,9 м

и массой 8 тыс.т. Сооружение рассчитано на работу при глубине моря 5,5-16,5 м, температуре воздуха  $-51\div+31^{\circ}\text{C}$  и воды до  $-1,8^{\circ}\text{C}$ , максимальной скорости ветра 33,3 м/с, высоте волн 5,7 м, скорости течения до 7.5 м.

Ледостойкая платформа «Моликпак» предназначена для бурения скважин глубиной до 6200 м на арктическом мелководном (15-40 м) шельфе; представляет собой передвижной, опирающийся на дно кессон с грунтовым наполнением. На место бурения установку буксируют в плавучем состоянии, далее её центрируют над заранее заготовленной фермой и балластируют в рабочее положение, заполняют грунтом. Высота платформы составляет 29 м, подводной части – 7 м, размер палубы - 73x73 м, масса в рабочем состоянии - 46,1 тыс.т.

Монопод «Унион Марафон», позволяющий вести бурение круглый год в покрытых льдом мелководных (до 20 м) арктических акваториях, имеет диаметр колонны 8,5 м. Основание удерживается на дне собственной тяжестью, но при необходимости легко перемещается с места на место.

На Западно-Арктическом шельфе установка ледостойкой платформы планируется на месторождении "Приразломное", расположенном в юго-восточной части Баренцева моря - Печорском море. В этом районе весьма жесткие ледовые условия - минимальная температура воздуха  $-46^{\circ}\text{C}$ , зимний период длится 9 месяцев, толщина льда до 1,7 м и торосов до 3,5 м, глубина моря 19 м. Работы по проектированию МЛСП "Приразломная" в ЦКБ "Рубин" начались в конце 80-х годов с создания концептуальных проектов опорных частей платформы. Проект МЛСП "Приразломная" представляет собой стальную гравитационную платформу, состоящую из кессона (основания) сухим весом 57000 тонн, размером 126x126x24,3 м, в котором размещены хранилища нефти объемом 130000 тонн, топливные цистерны, водяной и твердый балласт, насосные станции. На палубе размером 93x93 м расположено верхнее строение сухим весом около 28000 тонн, предназначенное для бурения скважины, добычи нефти и первичной ее переработки. После переработки нефть поступает в нефтехранилище, затем через отгрузочное устройство нефть перегружается на танкеры ледового класса грузоподъемностью 60000 тонн.

Пока не создана окончательная концепция нефтегазодобычи на глубоководных месторождениях Западно-Арктического шельфа России. Наиболее крупное из них, Штокмановское газоконденсатное месторождение находится в весьма суровых природно-климатических условиях: глубина моря около 350 м, очень сильное волнение моря. Для разработки месторождения, по мнению специалистов ЦКБ «Рубин», необходимы 2-3 платформы. По-видимому, из-за большой глубины платформа не может стационарно стоять на дне, а должна быть плавучей. Транспортировку газа планируют осуществлять по трубопроводу на берег. В 1994 году был разработан вариант технико-экономического обоснования обустройства месторождения.

В 1999 году было разработаны технические предложения двух типов платформ - TLP и Spar. При изучении первого типа платформы был продолжен поиск оптимальной конфигурации опорной части и определено влияние различных характеристик на эксплуатационные параметры. Основной задачей при разработке конструкции типа Spar, созданной для глубоководных районов незамерзающих морей, стал поиск технических решений, обеспечивающих ледостойкость. Подобных сооружений в мировой практике не создавалось, нормативной базы по их проектированию практически нет.

*Микроуровень.* Включает криогенное воздействие газопроводов на придонную среду, на участках, где температура газового потока в трубах понижается до отрицательных температур, влечёт за собой промерзание грунтов, обледенение труб и т.д. Возможность промерзания обусловлена большой протяжённостью проектируемых магистральных газопроводов (свыше 500 км от ШГКМ), сложностью строительства в ледовых морях промежуточных компрессорных станций и низкой температурой придонной среды. Промерзание вмещающих газопроводы отложений с созданием аварийных ситуаций возможно, наравне с глубоководными, в прибрежных, относительно мелководных (менее 80 м) районах, где из-за возможных повреждений газопроводов плавучими льдами проектируется их заглубление в донные грунты. Особо опасны в этом отношении участки разгрузки подземных вод вблизи Кольско-Канинского побережья, где температура замерзания среды повышается до 0°C.

На участках шельфа, прилегающим к месторождениям строительных песков, ракушняков и россыпных полезных ископаемых, неустойчивыми в процессе их разработки окажутся толщи рыхлых отложений, залегающих гипсометрически выше подводных разработок. Могут существенно измениться активность и направленность литодинамических процессов площади.

### **Методология морских инженерно-геологических исследований и картографирование**

Глубинность исследований (картирования), состав и методика изучения параметров инженерно-геологических свойств грунтов определяются характером инженерных сооружений в системе «Инженерно-геологические условия нефтегазонасной провинции арктического шельфа». Мощность «толщи горных пород, которая может быть вовлечена в сферу воздействия инженерных сооружений массового строительства» в континентальных условиях обычно устанавливается, как правило, 10-20 м [57]. На Западно-Арктическом шельфе наиболее распространёнными инженерными сооружениями, за исключением нефтегазодобывающих скважин, являются поверхностные нефтегазопромысловые сооружения (добывающие платформы, терминалы, насосные станции и др.) с глубиной воздействия на донный грунт, составляющей первые десятки метров и трубопроводы поверхностного и приповерхностного заложения для транспортировки нефти и газа – до 5 м. Воздействия, не связанные с добычей углеводородов: разработка строительных материалов, ракушняков и россыпных месторождений (до 10 метров); подъём или захоронение затонувших инженерных объектов (до 10 м); строительство линий волоконно-оптической связи (до 5 м).

В основу картографирования положено подразделение на инженерно-геологические комплексы на основе классификации, созданной в развитие работ Ф.П.Саваренского и В.Д.Ломтадзе, с использованием идей основоположника региональной инженерной геологии И.В.Попова о выделении из всей толщи пород покровных отложений с отражением их состава и мощности при помощи штриховки. На двухслойной *инженерно-геологической карте* первый (верхний) слой, показанный штриховкой, соответствует комплексу современных слабых и рыхлых покровных грунтов морского, аллювиально-морского, ледниково-морского, морского биогенного и элювиально-делювиального происхождения.

Мощность осадков и отложений данного комплекса меняется от первых сантиметров до 10-20 м (иногда – выше). Второй (нижний) слой, показанный цветом, представлен доголоценовыми инженерно-геологическими комплексами, мощность которых, как правило, превышает 10 м (табл. 7), что удовлетворяет условиям глубинности инженерно-геологических исследований.

При составлении инженерно-геологической карты нефтегазоносной провинции арктического шельфа рекомендуется использовать имеющиеся материалы по вещественно-генетическим и литологическим типам осадков, геологические, четвертичных и голоценовых отложений карты, инженерно-геологические карты отдельных площадей.

Таблица 7

Типичные значения мощности приповерхностных инженерно-геологических комплексов Западно-Арктического шельфа России

Инженерно-геологический комплекс	Характер залегания комплекса	Значения мощности, м
Современные слабые и рыхлые покровные грунты морского, аллювиально-морского, ледниково-морского, морского биогенного и элювиально-делювиального происхождения	Первый от поверхности	0-10 (20)
Плейстоценовые мягкие и рыхлые грунты морского, ледниково-морского, флювиогляциального и аллювиально-морского происхождения	Второй от поверхности	10-50
Мезозойско-кайнозойские мягкие, рыхлые и полускальные грунты	Второй от поверхности	> 100
Палеозойские полускальные породы	Второй от поверхности	> 100
Архейско-протерозойские скальные породы высокой прочности	Второй от поверхности	> 100

Кроме собственно инженерно-геологических карт могут быть составлены карты инженерно-геологического районирования. На *карте естественно-исторического районирования* целесообразно выделить области развития различных элементов инженерно-геологических условий, например:

- области развития мощного чехла слабых осадков, подстилаемых мягкими четвертичными отложениями (в пределах отрицательных морфоструктур);
- области развития маломощного прерывистого чехла песчано-гравелистых осадков на скальных дочетвертичных породах (в пределах положительных морфоструктур) и т.д.

Если известны требования к инженерно-геологическим условиям строительства конкретных инженерных сооружений (например, допустимая несущая способность грунтов, требования к коррозионной агрессивности среды,

допустимый углы наклона и радиусы кривизны трубопроводов, интенсивность размыва грунтов и т.д.), составляются *карты специального инженерно-геологического районирования* с выделением участков, в различной степени благоприятных для определённого строительства.

Оптимизация инженерно-геологической информации достигается за счёт полного использования всех результатов исследования картируемой площади дистанционными и контактными геофизическими методами и сосредоточения инженерно-геологического опробования на ключевых участках с последующей экстраполяцией полученной информации на всю площадь съёмки. Количество ключевых участков, их размеры и плотность инженерно-геологического опробования определяются градиентами пространственной изменчивости элементов инженерно-геологических условий рассматриваемой площади и их коэффициентами вариации. Общий подход к оптимизации количества информации и рекомендуемая методика её математической обработки изложены в Методическом руководстве по инженерно-геологической съёмке масштаба 1:200 000 (1:100 000-1:500 000) [57], составленном для суши.

Для определения объёмов опробования при ГСШ-200 рекомендуется задаваться относительной точностью определения наиболее изменчивого показателя инженерно-геологических свойств грунтов 0,10 и доверительной вероятностью 0,85, а для МГСШ относительной точностью 0,15 и доверительной вероятностью 0,80. По опыту работ количество точек инженерно-геологического опробования на ключевом участке при ГСШ-200 должно быть не менее 10, при МГСШ – не менее 8. Общий объём опробования определяется количеством ключевых участков.

Ускорение получения инженерно-геологической информации по свойствам грунтов достигается путём организации набортной лаборатории для исследования донных грунтов, автоматизации и компьютеризации исследований [55]. Монолиты «слабых» донных осадков для испытаний в стационарных лабораториях, отобрать и сохранить в состоянии достаточной ненарушенности, как правило, не возможно.

Для глинистых донных осадков (глинистые, суглинистые и супесчаные илы) наиболее варьируемым показателем свойств является сопротивление вращательному срезу (равное или близкое к удельному сцеплению), для песчаных – гранулометрический состав (например, содержание фракций менее 0,1 мм).

Изменчивость свойств современных морских осадков связана как со степенью литогенеза (наиболее ярко – в тонкодисперсных осадках: резкое увеличение прочности и плотности с глубиной залегания от донной поверхности), так и с вертикальной (изменение состава и свойств осадков в зависимости от глубины моря) и циркумконтинентальной (изменение состава и свойств осадков в зависимости от расстояния от берега) зональностями осадконакопления. В значительно меньшей степени может проявиться широтная (климатическая) зональность.

Ключевые участки по своему назначению подразделяются на участки общего и специального назначения. Ключевые участки общего назначения освещают наиболее характерные, типичные для площади съёмки инженерно-геологические условия, какие, например, как области развития глинистых или песчаных осадков на отрицательных или положительных морфоструктурах. Ключевые участки специального назначения служат для изучения отдельных площадей со

своеобразными инженерно-геологическими условиями: выходов на поверхность «древних» отложений и активного развития геологических процессов и явлений.

Основные требования к выбору местоположения, формы и размеров ключевых участков [56]:

1. Ключевые участки должны охватывать весь диапазон морских глубин на площади съёмки, точки, наименее и наиболее удалённые от морских берегов, а также поля распространения всех литологических типов донных осадков.
2. Взаимное расположение ключевых участков должно обеспечить установление главного направления изменчивости инженерно-геологических условий по латерали и достоверную оценку градиентов вертикальной батиметрической и латеральной (вдоль главного направления) изменчивости.

Проведение морских инженерно-геологических исследований донных грунтов в значительной мере ограничено гидрометеорологическими условиями (табл. 8, 9 и 10).

К неблагоприятным факторам в летнее время отнесены штормовые ветра, сильное волнение (штормовое или зыбь) с высотой волны более 2 м, сильные течения со скоростями более 1 м/с (двух узлов), высокие приливы (более 1 м), наличие плавучего льда. Учитывая столь значительную ограниченность возможности проведения морских инженерно-геологических работ во времени, выполнение проектных изысканий приходится проводить в несколько полевых сезонов.

Таблица 8

Метеорологические условия, благоприятные для проведения инженерно-геологических работ с судов (по О.В.Решетовой и др. [73])

Акватория	Месяцы, благоприятные для проведения работ с судов	Температура воздуха			Ветер		Вероятность штормов, %
		max °C	min °C	mid °C	осн. напр.	ср. скор., м/с	
Баренцево море	июнь-сентябрь	24-30	-8÷-1	5-10	С, СВ	5-7	3-5
Карское море	июль (кон.)-сентябрь (нач.)	20-28	-4÷-12	2-6	СВ-СЗ	5-6	5-8

Таблица 9

Гидрологические условия, благоприятные для проведения инженерно-геологических работ с судов (по О.В.Решетовой и др. [73])

Акватория	Месяцы, благоприятные для проведения работ с судов	Волнение		Течения		Приливы, м	
		в эти месяцы	кол-во дней с высотой волн > 2м	осн.напр . у берегов	ср.скор., м/с	max	min
Баренцево море	июнь (кон.)-сентябрь (нач.)	1,5-2,5	39-41	В, ЮВ	0,15-0,25	3-5	0,1-0,2
Карское море	Июль (кон.)-сентябрь (нач.)	0,5-1.5	13-21	ЮЗ, СВ	0,05-0,10	0,5-2,5	0,1-0,2

Таблица 10

Ледовые условия, благоприятные для проведения инженерно-геологических работ со льда (по О.В.Решетовой и др. [73])

Акватория	Месяцы, благоприятные для проведения работ со льда	Ширина припайной зоны, км	Толщина льда, м	
			max	min
Баренцево море	Нет, за искл. бухт ЗФИ и НЗ	0,5-3,0	1,0	0
Карское море	Декабрь-май	4-300	1.9-2,0	0,7

Критерием для отработки методики пробоотбора донных грунтов является возможность получения малонарушенных представительных проб при наименьших затратах времени. В ходе внедрения пробоотборника в грунтовой массив при любой технологии внедрения (ударной, вибрационной или статическом задавливании) происходит изменение напряжённо-деформационного состояния грунтовой пробы.

По мнению Е.А.Вознесенского с соавторами [12], ударная технология внедрения пробоотборников непригодна для отбора образцов ила, т.к. они весьма чувствительны к динамическому воздействию. Кроме того, при высоком трении по стенкам трубки может наступить закупорка грунтоноса, что ведёт к неполному выходу керна и существенному повреждению грунтовой пробы. Несколько иного мнения придерживаются А.Е.Смолдырев [78], А.В.Кондратенко, Я.В.Неизвестнов [45], которые считают, что при динамическом воздействии на илы и мягкие глины динамическое воздействие относительно мало, а предельная высота заполнения пробоотборника керном аналогична статическому погружению. К числу используемых в настоящее время в практике морских инженерно-геологических исследований ударных пробоотборников относятся дночерпатели «Океан-0,25» и

ДГ-1,5, коробчатый пробоотборник КП-0,15-1,5 и прямоточная грунтовая трубка АХК-005 (табл. 11).

Сохранность грунтовых проб, отобранных дночерпателем «Океан-0,25», как правило, чрезвычайно низка ввиду его малого объёма и конструктивных недостатков (недостаточная герметичность, расчленение пробы тросовой системой и др.). Дночерпатель ДГ-1,5 лишён названных недостатков и может успешно использоваться для отбора крупных проб донных грунтов. Сравнение сохранности грунтовых проб, отобранных ударными пробоотборниками, показывает, что коробчатый пробоотборник, по сравнению с грунтовой трубкой, обеспечивает равномерную и более высокую сохранность грунтовых проб по всей глубине отбора.

Таблица 11

Технические характеристики ударных пробоотборников

Тип пробоотборника	Глубина внедрения, м	Площадь опробования, м	Диаметр, мм	Масса, т
Дночерпатель «Океан-0,25»	0,3	0,25		0,125
Дночерпатель гидростатический ДГ-1,5	0,7	1,5		0,965
Коробчатый пробоотборник КП-0,15-1,5	1,5	0,16		0,600
Прямоточная грунтовая трубка АХК-005	5,0	0,005	146	1,000

Вибрационная технология заведомо неприемлема для отбора инженерно-геологических проб слабых грунтов (илов), однако может успешно использоваться для инженерно-геологического опробования рыхлых отложений. Для общей характеристики всего разреза песчаных и крупнообломочных отложений на глубину 5-8 м рекомендуется применение динамического пробоотборника ударно-вибрационного действия ДИП-Шельф (внутренний диаметр 110 мм, масса 1,2 т).

Наиболее оптимальным с точки зрения сохранности илистых проб следует признать метод статического задавливания в грунтовый массив тонкостенных цилиндрических пробоотборников.

В последнее время в морской геологической отрасли России всё шире используются устройства, позволяющие определять некоторые параметры физико-механических свойств грунтов непосредственно на морском дне (in situ). Например, зондирующая установка «ИГ-Шельф», в которой используется измерительная аппаратура и программное обеспечение фирмы GEOTECH FD (Швеция), обеспечивающие в соответствии со стандартами СРТ определение лобового сопротивления внедрению конуса, боковое трение по муфте трения

зонда и динамическое поровое давление, позволяет осуществлять зондирование донных отложений на глубину до 6 м [29]. На судне «Бавенит», проводящем комплексные инженерно-геологические работы в Баренцевом и Карском морях, используют установку для статического зондирования грунтов до 40 м и скважинный гидравлический пенетромтр для статического зондирования грунтов в скважинах «WISON».

Физико-механические свойства морских грунтов определяют в судовой и стационарной лабораториях по ГОСТ и методическим пособиям, разработанным во ВСЕГИНГЕО и ВНИИОкеангеологии [58, 55]. Во ВНИИОкеангеологии совместно с Санкт-Петербургским архитектурно-строительным институтом создан компьютеризированный лабораторный комплекс для определения физико-механических свойств слабых глубоководных донных осадков, способный функционировать в условиях судовых лабораторий. В его состав входят:

- Прибор вращательного среза ПВС-3М, позволяющий выполнять измерения сопротивления вращательному срезу и остаточной прочности осадков экспресс-методом в диапазонах 0,5-15,0 и 0,5-30,0 кПа. Шестискоростные приборы ПВС-3М с угловой скоростью вращения образца 0,06, 0,16, 0,25, 0,62, 1,00 и 2,50 оборота в минуту работают по принципу быстрого среза грунта четырёхлопастной крыльчаткой без предварительного уплотнения и дренирования образца.

- Судовой прибор чистого сдвига СПЧС-ГБ-3М, предназначенный для определения прочностных (сцепление, угол внутреннего трения) и реологических (вязкость, период релаксации) характеристик осадков при угловых скоростях сдвига образцов 0,03, 0,06, 0,12, 0,31, 0,62, 1,22, 2,40, 6,00 оборотов в минуту в диапазоне касательных напряжений от 0,5 до 30 кПа и нормальных давлений от 2 до 20 кПа. Характеристики донных осадков определяют по результатам испытаний на кручение сплошных образцов при постоянной скорости деформации.

- Судовой прибор липкости и пенетрации СПЛиП, применяемый для определения липкости осадков в воздушной среде и под слоем морской воды в диапазоне изменения усилий отрыва штампа от 0,05 до 1,2 Н.

- Сверхвысокочастотный резонансный влагомер СВР-6М, сконструированный в Калининградском государственном университете, предназначен для оперативного измерения влажности донных осадков в диапазоне от 20 до 100%.

Специалисты АМИГЭ, как правило, используют лабораторное оборудование для исследований в стационарных лабораториях (после консервации и транспортировки образцов с места отбора пробы), в частности, разработанное фирмой WYKHAM FARRANCE INTERNATIONAL.

Несущая способность слабых донных грунтов определяется особенностями их структуры. С одной стороны, высокодисперсные слаболитифицированные осадки с коагуляционными связями характеризуются резким возрастанием деформаций по мере нагружения основания, способностью к внезапному разжижению в узком интервале напряжений выше динамического предела текучести по Бингаму или выше предела прочности вследствие разрушения малопрочного структурного каркаса и освобождения замкнутой в порах воды. Происходит быстрое деформирование, гидродинамический удар, рвущий структуру образца одновременно по всем направлениям и вызывающий его полное разжижение. В

этом случае практический интерес представляет изучение критического давления при кратковременном воздействии, вызвавшего быстрое деформирование.

Кроме того, существует понятие о начальной критической нагрузке, при которой начинается формирование упругого ядра и появляются площадки сдвига в зоне, смежной с упругим ядром. Для слабых связных грунтов с углом внутреннего трения, меньшим  $5^\circ$ , принята формула Н.П.Пузыревского:

$$P_1 = 3,14 C, \quad (5)$$

где  $P_1$  – начальная критическая нагрузка, кПа;

$C$  – удельное сцепление, кПа.

Для расчёта несущей способности основания круглой или квадратной формы  $P_2$  (предельной критической нагрузки, которая характеризуется развитием областей предельного равновесия, сопровождающимся сдвигами в этих зонах) используется формула К.Терцаги:

$$P_2 = 5,7 C \quad (6)$$

или А.Ю.Ишлинского:

$$P_2 = 5,71 C \quad (7)$$

для полосовой нагрузки используется формула Прандтля:

$$P_2 = 5,14 C. \quad (8)$$

Автором совместно с Н.А.Куриным были исследованы реальные значения критического давления на грунтовое основание по оригинальной методике, проведено его сопоставление с прочностью (удельным сцеплением) грунта, которое, с учётом возможных ошибок определения и поправки в 25% на высокий темп передачи давления [25], в среднем близко к 3,14. То есть для слабых грунтов потеря устойчивости наступает при превышении нормальной нагрузки, соответствующей первому предельному состоянию (начальной критической нагрузке по Н.П.Пузыревскому).

Результаты испытаний и необходимость технического усовершенствования методики определения несущей способности привели к созданию портативного судового прибора, предназначенного для прямого определения несущей способности (и сцепления) донных илов и текучих глин – СПНС-1 [49]. Опытный образец был испытан на глинистых илах Печорского моря (ГС «Иван Петров», 2001). По результатам выполненных исследований несущая способность изученных грунтов изменялась от 2,5-2,7 кПа в приповерхностной части разреза (интервал 0-0,25 м) до 18,5 кПа на глубине 0,25-0,6 м.

### **Мониторинг геологической среды шельфа и концепция геоэкологической паспортизации нефтегазовых месторождений арктического шельфа**

Современное понятие *мониторинга геологической среды* разработали Ю.А.Израэль, Г.К.Бондарик и Л.А.Ярг, Г.С.Вартанян, В.К.Епишин и В.Т.Трофимов, В.А.Королёв, А.И.Шеко, В.С.Круподёров и целый ряд других отечественных учёных, рассматривая его как систему постоянных наблюдений, оценки, прогноза и управления геологической средой или какой-либо её частью, проводимую по заранее намеченной программе в целях обеспечения оптимальных экологических условий для человека в пределах рассматриваемой ПТС (природно-техногенной системе).

Почти полными синонимами мониторинга геологической среды являются литомониторинг, инженерно-геологический мониторинг и мониторинг ПТС, хотя,

по мнению В.Т.Трофимова, понятие ПТС несколько шире, чем понятие геологическая среда [83]. Сам процесс наблюдений не является непосредственной целью мониторинга, а средством решения главной задачи мониторинга – разработки прогноза развития геологической среды под влиянием природных и техногенных факторов в системе «природная среда-сооружение» и принятия рекомендаций и решений для оптимального управления ПТС.

При организации мониторинга геологической среды как мониторинга ПТС решение его основных задач по устойчивости инженерных сооружений ПТС в значительной части может выполняться с помощью традиционных инженерно-геологических методов. К их числу относятся прогнозы изменения устойчивости естественных оснований сооружений, эволюции коррозионной агрессивности среды, развития природных и техногенных геологических процессов и явлений. Прогноз каждого перечисленного компонента инженерно-геологических условий ПТС включает в себя установление исходных параметров, составление прогноза изменения параметров геологической среды во времени и взаимодействие элементов инженерно-геологических условий с сооружением на весь срок эксплуатации; наблюдение за фактическим изменением этих параметров в процессе мониторинга и корректировку прогноза.

По мнению авторов «Концепции мониторинга геологической среды арктических шельфов» [11], он должен содержать три стадии:

1. Региональная - для определения объектов и оптимального комплекса методов мониторинга на следующей стадии (профильные наблюдения по 1-2 геотраверсам, пересекающим крупные геологические структуры и главные зоны активности геологических и техногенных процессов).

2. Локальная – для регулярных наблюдений на ограниченных полигонах, в пределах которых будет изучен определённый геологический процесс, представляющий интерес в геоэкологическом отношении.

3. Объектовая – для изучения отдельных пунктов акватории, на которых будут установлены долговременные геоэкологические станции, обеспечивающие непрерывный мониторинг изменяющихся параметров среды (сейсмичность, тепловой поток, геохимические характеристики миграционных флюидов и др.).

Общим принципом выбора объектов мониторинга на арктических шельфах в концепции предполагается «повышенная изменчивость параметров геологической среды»: зоны разломов, повышенных градиентов рельефа, неустойчивого гидрологического режима, прибрежного массопереноса и абразии, предполагаемой или установленной разгрузки подземных флюидов, геотермических аномалий и т.п. Первоочередными «узловыми полигонами» Баренцева моря названы: Печенгско-Мурманский, Горло Белого моря, мелководье Чёшской губы – эталонный полигон (? – авт.), устье р.Печоры., район нефтяного месторождения Приразломное, район Гусиной банки и Штокмановское газоконденсатное месторождение.

По мнению автора, подобный мониторинг не имеет целевой направленности и в связи с этим вряд ли будет высокоэффективным. Как было отмечено Г.К.Бондариком и Л.А.Яргоном [10], с позиций содержательных мониторинг представляет собой систему наблюдений за режимом функционирования и прогноза развития конкретной ПТС. Изучение же процессов «вообще» вряд ли целесообразно, хотя, несомненно, представляет некоторый познавательный интерес.

Оптимальной формой целевого мониторинга геологической среды Западно-Арктического шельфа России, учитывая строгую направленность инженерной деятельности на освоение месторождений углеводородов, могла бы стать система геозекологической паспортизации морского нефтегазового месторождения [37]. *Геозекологический паспорт морского нефтегазового месторождения* должен объединить в единое виртуальное пространство набор информационных блоков, локальных баз данных (рис. 2). Область действия паспорта распространяется на акваторию месторождения углеводородов, трассы морских трубопроводов и зоны их берегового примыкания. В некоторых случаях (например, в случае интенсивного загрязнения прилегающих площадей) границы области могут быть расширены.

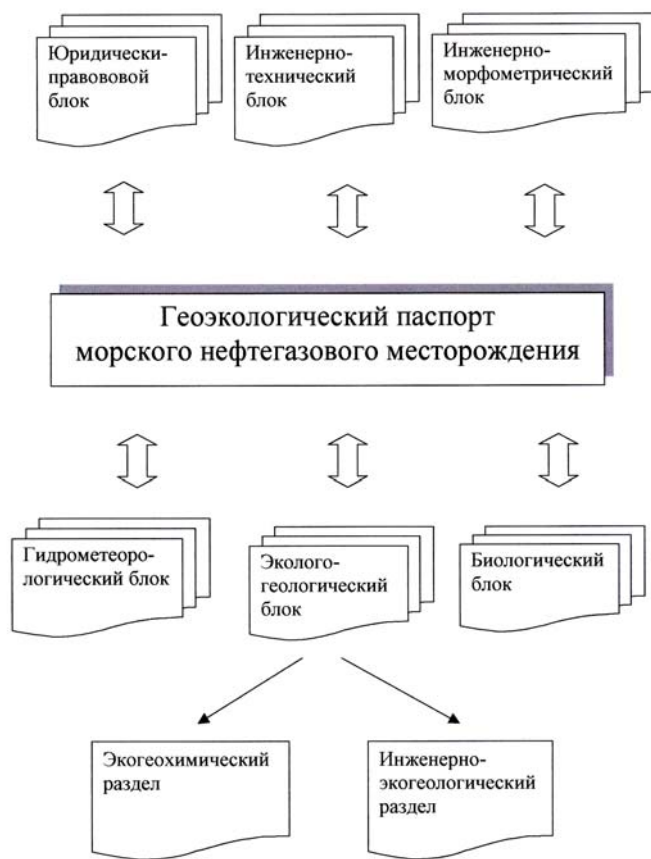


Рис. 6 Структура геозекологического паспорта морского нефтегазового месторождения (по С.А.Козлову [2003])

Паспорт должен быть именно «геозекологическим», в том определении геозекологии, которое сформулировали Е.А.Козловский (1989 г.), Г.А.Голодковская и Ю.Б.Елисеев (1990 г.), Н.А.Айбулатов (1990 г.), В.И.Осипов (1993 г.), В.А.Дубровин и В.С.Круподёров (2000 г.) – как новым научном

направлении, возникшем на стыке геологии и экологии и изучающим закономерные связи между человеком, инженерными сооружениями и геологической средой. Не следует путать с часто называемым геоэкологией экогеохимическим направлением [31, 21, 15], задачи которого существенно отличаются от приведённого понятия и ограничиваются, в основном изучением миграции, трансформации и накопления загрязняющих веществ в атмосфере, морской воде и приповерхностном (десятки сантиметров) слое донных осадков.

Срок действия паспорта – с момента получения лицензии на проведение разведочных или (и) эксплуатационных работ до момента полной ликвидации экологических последствий добычи после её проведения, завершения рекультивации геологической среды. Состав и содержание паспорта регламентируются для различных стадий освоения месторождения: начальной, разведочной, эксплуатационной и послеэксплуатационной.

В геоэкологический паспорт включены блоки: юридически-правовой, инженерно-технический, гидрометеорологический, инженерно-морфометрический, эколого-геологический, биологический.

Юридически-правовой блок включает данные об экологических (геоэкологических) требованиях, установленных федеральными, региональными, международными нормативными документами (законодательными актами) к организациям, занимающимся разведочными и (или) нефтегазопромысловыми работами на шельфе.

Инженерно-технический блок содержит базу данных о расположении нефтегазопромысловых сооружений, конкурентных вариантах размещения и размерах участков акватории, отчуждаемых под строительство (впоследствии – под функционирующее сооружение). Рассматриваются особенности режима эксплуатации, оказывающие воздействие на биоту: утечку нефтепродуктов, ультразвуковые колебания, электромагнитное поле и др. Приводятся сведения о возможных аварийных ситуациях, мероприятиях по их предупреждению и ликвидации. Включены данные об удельном давлении сооружений на дно, характере передачи нагрузки, особенностях взаимодействия с грунтом, материале строительных конструкций. Указываются планируемые способы прокладки трубопроводов, техническая характеристика труб и оборудования, используемого для укладки, параметры транспортируемого флюида, начальные значения давления и температуры. Для оценки возможности обледенения и вмерзания в грунт производится расчёт транспортировки газа с учётом развитого турбулентного неизотермического движения газа по подводным магистральным газопроводам.

Гидрометеорологический блок включает материалы об изменениях уровня моря, экстремальных ветрах и волнениях, скорости и направлении течений, коррозионной агрессивности водной среды. Рассчитываются возможные варианты дрейфа загрязнений (в том числе за границу области действия паспорта) под влиянием гидрометеорологических факторов с выполнением численных экспериментов на модели распространения примесей (по аналогии с рудными месторождениями Тихого океана [44]). Приводится перечень параметров условий обитания морских организмов (направления и скорости течений, перемещение наносов, состав и солёность воды, температура воды и воздуха). Даются сведения о сроках появления и исчезновения различных генераций дрейфующего льда и припая, границах их распространения, морфологии, характеристиках

сплочённости ледовых полей, динамике дрейфующего льда (в том числе айсбергов) и припая. Определяются зоны стамухообразования, зоны навалов льда на берег, оценивается экзарация морского льда и абразия (термоабразия) берегов.

Инженерно-морфометрический блок содержит результаты промера глубин, гидролокационной съёмки, магнитометрии и электрометрии, подводных фотографирования и телеметрии, необходимые для изучения особенностей подводного рельефа. Составляются инженерно-морфометрические схемы участков изысканий с указанием размеров форм и углов наклона поверхностей. Выделяются зоны возможного развития гравитационных процессов, виды ландшафтов в зоне воздействия проектируемых сооружений. Прогнозируются возможные изменения ландшафтов, обусловленные перепланировкой поверхности морского дна и созданием новых форм микрорельефа.

Биологический (эколого-медицинский) блок включает материалы ландшафтно-экологических, геоботанических, микробиологических и ихтиологических исследований; медико-биологические аспекты работы персонала, занятого на разведке и добыче полезных ископаемых; данные о состоянии здоровья населения близлежащих территорий.

Эколого-геологический (экогеологический) блок включает экогеохимический и инженерно-экогеологический разделы. *Экогеохимический* раздел содержит сведения об основных источниках загрязнения акватории и прибрежной территории: хранилищах и свалках радиоактивных и отравляющих (биоцидных) веществ, испытательных полигонах, отстойниках, нефтехранилищах, сточных водах и т.д. Приводятся пути миграции, трансформации и накопления природных и техногенных веществ, выделяются физико-химические барьеры.

*Инженерно-экогеологический* раздел содержит сведения об опасных геологических и природно-техногенных процессах, развитие которых может повлечь за собой разрушение инженерных сооружений с существенным нарушением экологического равновесия природной среды. На схемах развития опасных (для инженерных сооружений) процессов и явлений выделяются опасные литодинамические, геокриологические, геодинамические, физико-химические и другие процессы и явления.

Выделяются зоны интенсивного развития и аккумуляции донных отложений, оцениваются объёмы и направления потоков наносов. Оконтуриваются участки с локальным и площадным развитием гравитационных процессов. Картируются кровля и подошва реликтовой и современной криолитозоны, прогнозируется многолетнее изменение её мощности, образование термокарстовых впадин и гидролакколитов, приводятся характеристики теплопроводности грунтов. В прибрежной зоне выявляются участки разгрузки подземных вод прилегающей суши.

Оценивается возможное сжатие продуктивных и контактирующих с ними слабопроницаемых пород, происходящее в процессе добычи флюидов. Рассчитывается (на эксплуатационной стадии – измеряется) осадка донной поверхности. Приводятся результаты микросейсмораионирования, в том числе – участков возможного развития техногенных (вызванных осадкой) землетрясений.

В блок включена инженерно-геологическая карта с указанием мощностей и физико-механических свойств голоценовых и подстилающих отложений. На карту наносятся зоны развития «слабых» осадков с пониженной несущей способностью, в том числе - газонасыщенные, гумифицированные,

подверженные битумизации, загрязнённые нефтепродуктами и др. Прогнозируется (и измеряется) развитие гравитационных, физико-химических и биохимических процессов и соответствующее изменение физико-механических свойств грунтов: разупрочнение и разуплотнение при повышении газонасыщенности (например, вследствие деградации мерзлоты или гипотетических газовых гидратов), увеличении содержания гуминовых кислот (при изменении физико-химической обстановки в придонной части) и т.д.

На схему инженерно-экогеологического районирования наносят устойчивые, относительно устойчивые, слабоустойчивые, потенциально неустойчивые и неустойчивые районы, в зависимости от характера геологической среды, применительно к строительству и эксплуатации различных инженерных сооружений (в первую очередь, трубопроводов). Приводятся результаты специальных исследований (в том числе коррозионной агрессивности грунтов).

### Заключение

Определены состав и содержание основных компонентов инженерно-геологических условий промышленного освоения шельфовых месторождений углеводородов Западно-Арктической нефтегазоносной провинции в системе знаний региональной инженерной геологии: рельефа (геоморфологических условий); горных пород и донных осадков; подземных флюидов; опасных геологических процессов и явлений (с оценкой устойчивости геологической среды); инженерных сооружений и техногенных воздействий. Установлено, что мониторинг геологической среды арктического шельфа, рассматриваемый как система постоянных наблюдений, оценки, прогноза и управления геологической средой или какой-либо её частью, проводимых по заранее намеченной программе в целях обеспечения оптимальных экологических условий для человека в пределах рассматриваемой ПТС, следует сконцентрировать, в первую очередь, на площадях осваиваемых нефтегазовых месторождений, в рамках их комплексной геоэкологической паспортизации.

### Список литературы

1. Андреева И.А., Ванштейн Б.Г., Зинченко А.Г., Кийко О.А., Петрова В.И. Ландшафтно-геоэкологические исследования акватории Баренцева моря как основа для постановки долгосрочного мониторинга / Концептуальные проблемы геоэкологического изучения шельфа. СПб, ВНИИОкеангеология, 2000, с. 17-32.

2. Аплонов С.В., Шмелёв Г.Б., Краснов Д.К. Геодинамика Баренцево-Карского шельфа (по геофизическим данным) // Геотектоника, 1996, №4. С. 58-76.

3. Арэ Ф.Э. О субквальной криолитозоне Северного Ледовитого океана // Региональные и теплофизические исследования мёрзлых горных пород в Сибири. Якутск, 1976. С. 3-26.

4. Атлас океанов. Северный ледовитый океан. ГУНиО МО СССР, 1980, 184 с.

5. Атлас палеогеографических карт. Шельфы Евразии в мезозое и кайнозое. Карта 13.12, м-б 1:5000000, авторы В.С.Зархидзе, Е.Е.Мусатов, А.С.Красножен, И.И.Гриценко, Р.Б.Крапивнер, Б.Г.Фёдоров. Лондон, THE ROBERTSON GROUP plc, 1991.

6. Баренцевская шельфовая плита / Труды ПГО «Севморгеология» / Под ред. И.С.Граммберга. т.146. Л., Недра, 1988. 263 с.

7. *Безматерных Е.Ф., Сенин Б.В., Шитлов Э.В.* Осадочный чехол Западно-Арктической метаплатформы. Мурманск, НИИМоргеофизики, 1993, 184 с.
8. *Бондарев В.Н., Локтев А.С., Длугач А.Г., Потапкин Ю.В.* Методы исследования и определения субаквальной мерзлоты // Седиментологические процессы и эволюция морских экосистем в условиях морского перигляциала. Апатиты: Изд-во КНЦ, , 2001, с. 15 – 19
9. *Бондарик Г.К., Комаров И.С., Ферронский В.И.* Полевые методы инженерно-геологических исследований. М., Недра, 1967, 374 с.
10. *Бондарик Г.К., Ярг Л.А.* Природно-технические системы и их мониторинг // Инженерная геология, 1990, №5. С. 3-9.
11. *Верба М.Л., Матвеев Ю.И., Кочетков М.В., Спиридонов М.А.* Концепция мониторинга геологической среды арктических шельфов // Разведка и охрана недр, 1996, №12. С. 33-35.
12. *Вознесенский Е.А., Фёдоров А.Ю., Кешишев В.Н.* Инженерно-геологические исследования глубоководных илов Мирового океана: состояние проблемы (обзор) // Инженерная геология, 1990, №1. С. 3-25.
13. *Гаврилов В.П.* Геология и минеральные ресурсы Мирового океана. М., Недра, 1990, 328 с.
14. *Геокриология СССР. Европейская территория СССР.* М., Недра, 1988, 385 с.
15. *Геология и полезные ископаемые России. В шести томах. Т.5. Арктические и дальневосточные моря.* Кн. 1. Арктические моря / ред. И.С.Граммберг, В.Л.Иванов, Ю.Е.Погребницкий. СПб, Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. 468 с.
16. *Геоэкология шельфа и берегов морей России* // Н.А.Айбулатов, В.В.Гордеев, Л.Л.Дёмина и др. М., Ноосфера, 2001, 428 с.
17. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том I. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия.* Л., Гидрометеиздат, 1990, 280 с.
18. *Гинсбург Г.Д., Иванова Г.А.* Основные черты геохимии подземных вод в юрско-меловой толще юго-западной части Енисей-Хатангской нефтегазоносной области // Енисей-Хатангская нефтегазоносная область. Л., НИИГА, 1974. С. 71-85.
19. *Голодковская Г.А., Елисеев Ю.Б.* Инженерная геоэкология – период становления // Инженерная геология, 1990, №3. С. 815.
20. *Григорьев Н.Ф.* Криолитозона прибрежной части западного Ямала. Из-во ИМСО АН СССР, Якутск, 1987, 111 с.
21. *Гуревич В.И.* Современный седиментогенез и геоэкология Западно-Арктического шельфа Евразии. М., Научный мир, 2002, 135 с.
22. *Данилов И.Д.* Полярный литогенез. М., Наука, 1978, 238 с.
23. *Данилов И.Д.* Арктическая криогенномаринная формация и основные этапы её формирования // Геологическая история Арктики в мезозое и кайнозое. Книга II. СПб, ВНИИОкеангеология, 1992. С. 29-37.
24. *Данилов А.И., Ефремкин И.М.* Природно-климатические условия в районе освоения нефтегазовых месторождений арктического шельфа // Освоение шельфа арктических морей России. СПб, ЦНИИ им. А.Н.Крылова, 1998. С. 479-487.
25. *Дашко Р.Э.* Механика горных пород. М., Недра, 1987, 264 с.
26. *Добровольский А.Д., Залогин Б.С.* Моря СССР. М., МГУ, 1982, 191 с.
27. *Жигарев Л.А.* Океаническая криолитозона. М., изд-во МГУ, 1997, 320 с.
28. *Зайцев И.К., Толстихин Н.И.* Закономерности распространения и формирования минеральных подземных вод. М., Недра, 1972, 230 с.
29. *Захаров М.С., Елизаров В.Н., Лабор С.А., Кондратенко А.В.* Основные закономерности формирования инженерно-геологических условий восточной части Финского залива // Труды НИИГА-ВНИИОкеангеология, т.198. Морские инженерно-геологические исследования. СПб, ВНИИОкеангеология, 2003. С.138-154.
30. *Иванов Г.И.* Методология и результаты экогеохимических исследований Баренцева моря. СПб, ВНИИОкеангеология, 2002.

31. *Иванов Г.И., Грамберг И.С., Пономаренко Т.В.* Геоэкология арктического шельфа: методология / Разведка и охрана недр, №12, 1996 г. С.31-33.
32. *Иванова Г.А., Рыбалко А.Е., Спиридонов М.А.* Геохимия поровых вод донных отложений арктических морей // Гидрогеологические и мерзлотные условия Арктического континентального шельфа Евразии. Л.: ПГО Севморгеология, 1982, с. 52 – 61.
33. *Какунов Н.Б., Гранович И.Б., Зимаков Б.М. и др.* К проблеме формирования многолетнемерзлых пород и газогидратных залежей на территории Европейского Северо-Востока // Нетрадиционные источники углеводородного сырья, их распространение и проблемы освоения. ВНИГРИ, СПб, 2000, с. 271 – 273.
34. *Каминский В.Д., Иванов В.Л., Супруненко О.И., Сенин Б.В.* Западно-Арктическая нефтегазоносная провинция на пороге промышленного освоения // Разведка и охрана недр, 2005, №6. С. 5-9.
35. *Кирюхин В.А., Норова Л.П.* Региональная инженерная геология (теоретические основы). СПбГГИ, 2004, 89 с.
36. *Ковалевский В.С.* Влияние изменений гидрогеологических условий на окружающую среду. М., Наука, 1994, 138 с.
37. *Козлов С.А.* Концепция геоэкологической паспортизации и инженерно-геоэкологических исследований на морских месторождениях углеводородов (на примере Штокмановского газоконденсатного месторождения) // Труды НИИГА-ВНИИОкеангеология, т.198. Морские инженерно-геологические исследования. СПб, ВНИИОкеангеология, 2003. С.20-27.
38. *Козлов С.А.* Инженерная геология Западно-Арктического шельфа России. Труды НИИГА-ВНИИОкеангеология, т. 206. СПб, ВНИИОкеангеология, 2004. 147 с.
39. *Козлов С.А.* Оценка устойчивости геологической среды на морских месторождениях углеводородов в Арктике // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», [http://www.ogbus.ru/authors/Kozlov/Kozlov\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Kozlov/Kozlov_1.pdf). Опубликовано 11.01.2005. Уфа, 2005-А, 21 с.
40. *Козлов С.А.* Опасные для нефтегазопромысловых сооружений геологические и природно-техногенные процессы на Западно-Арктическом шельфе России // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», [http://www.ogbus.ru/authors/Kozlov/Kozlov\\_2.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Kozlov/Kozlov_2.pdf). Опубликовано 10.02.2005. Уфа, 2005-Б, 24 с.
41. *Козлов С.А.* Инженерно-геологическая стратификация Западно-Арктической нефтегазоносной провинции // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», [http://www.ogbus.ru/authors/Kozlov/Kozlov\\_3.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Kozlov/Kozlov_3.pdf). Опубликовано 26.04.2005. Уфа, 2005, 24 с. 2005-В.
42. *Козлов С.А., Неизвестнов Я.В.* Инженерная экогеология шельфов Баренцева и Белого морей: ключевые позиции в XXI веке / Геология морей и океанов. Тезисы докладов XIII Международной научной школы морской геологии. Том 1. М., 1999. С. 178-179. 0,1 п.л.
43. *Козлов С.А., Неизвестнов Я.В.* Пространственная изменчивость физико-механических свойств донных отложений нефтегазоносной области Баренцево-Карского шельфа // Труды НИИГА-ВНИИОкеангеология, т.198. Морские инженерно-геологические исследования. СПб, ВНИИОкеангеология, 2003. С. 79-85.
44. *Козлов С.А., Поляков Е.В., Неизвестнов Я.В., Решетова О.В.* Геоэкологические аспекты разработки месторождений железомарганцевых конкреций в рудной провинции Клариион-Клиппертон Тихого океана // Геология морей и океанов. Тезисы докладов XIII Международной научной школы морской геологии. Том 1. М., 1999. С. 176-177. 0,1 п.л.
45. *Кондратенко А.В., Неизвестнов Я.В.* Сравнительная оценка сохранности глубоководных грунтовых проб, поднятых на борт судна различными пробоотборниками // Труды НИИГА-ВНИИОкеангеология, т.198. Морские инженерно-геологические исследования. СПб, ВНИИОкеангеология, 2003. С. 90-98.

46. Кононова Р.С. Гидрохимическая зональность подземных вод как показатель палеомерзлотных условий // Доклады и сообщения II межд. конф. по мерзлотоведению. Вып. 5. Якутск, 1973. С. 90-94.
47. Королёв В.А. Мониторинг геологической среды / Под редакцией В.Т.Трофимова. М., Изд-во МГУ, 1995, 272 с.
48. Кошелева В.А., Яшин Д.С. Донные осадки Арктических морей России. СПб, ВНИИОкеангеология, 1999, 286 с.
49. Куринный Н.А., Козлов С.А. Несущая способность морских грунтов: методические аспекты / Труды НИИГА-ВНИИОкеангеология, т.198. Морские инженерно-геологические исследования. СПб, ВНИИОкеангеология, 2003. С. 86-89.
50. Латина Н.Н., Значко-Яворский Г.А., Куликов Н.Н. и др. Полярный тип литогенеза / Генезис и классификация осадочных пород / Доклады сов. геологов. 23-й Междунар. геол. конгресс. Проблема 8. М., Недра, 1968. С. 212-217.
51. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. Л., Недра, 1984, 511 с.
52. Ломтадзе В.Д. Словарь по инженерной геологии. СПбГИ, 1999, 360 с.
53. Мельников В.П., Спесивцев В.И. Инженерно-геологические и геокриологические условия шельфа Баренцева и Карского морей. Новосибирск, Наука, 1995, 198 с.
54. Мельников В.П., Спесивцев В.И., Куликов В.И. О струйной дегазации углеводородов как источнике новообразований льда на шельфе Печорского моря // Итоги фундаментальных исследований криосферы Земли в Арктике и Субарктике. Новосибирск: Наука, 1997 с. 259 – 269.
55. Методические рекомендации по определению физико-механических и коррозионных свойств донных осадков в судовых лабораториях при инженерно-геологических исследованиях глубоководных областей океана / Кондратенко А.В., Бронин В.Н., Куринный Н.А., Козлов С.А., Бакенов Х.З. СПб, ВНИИОкеангеология, 1993, 54 с.
56. Методические рекомендации по проведению инженерно-геологических исследований при геологической съёмке шельфа / Неизвестнов Я.В., Козлов С.А., Кондратенко А.В., Куринный Н.А., Патрунов Д.К., Решетова О.В. СПб, ВНИИОкеангеология, 1998, 34 с.
57. Методическое руководство по инженерно-геологической съёмке масштаба 1:200000. М., Недра, 1978, 391 с.
58. Методическое руководство по лабораторным методам изучения состава, состояния и свойств пород при инженерно-геологических работах. М., ВСЕГИНГЕО, 1992, 331 с.
59. Мусатов Е.Е. Сейсмостратиграфия и картирование неоген-четвертичных отложений Баренцево-Карского шельфа// Геологическая история Арктики в мезозое и кайнозое. Книга II. СПб, ВНИИОкеангеология, 1992. С. 38-46.
60. Неизвестнов Я.В. Методологические основы изучения инженерной геологии арктических шельфов СССР // Инженерная геология, №1, 1982. С. 3-16.
61. Неизвестнов Я.В. Инженерно-геологические свойства донных грунтов Баренцево-Карского шельфа. Труды I международной конференции «Освоение шельфа арктических морей России». М., Изд. «Ядерное общество», 1994. С. 107-110.
62. Неизвестнов Я.В., Боровик О.В., Козлов С.А., Холмянский М.А. Поддонная криолитозона Баренцева, Карского и Белого морей. Материалы третьей конференции геокриологов России. М., МГУ им. М.В.Ломоносова, 2005. Т. 3. С. 184-190.
63. Неизвестнов Я.В., Кондратенко А.В., Козлов С.А. и др. Инженерная геология рудной провинции Кларион-Клиппертон в Тихом океане. Труды ВНИИОкеангеология, т. 197. СПб, Наука, 2004, 281 с..
64. Неизвестнов Я.В., Козлов С.А., Куринный Н.А. Инженерная геология нефтегазоносной области западноарктического шельфа России / Геология морей и океанов. Тезисы докладов XIII Международной научной школы морской геологии. Том 2. М., 1999. С. 51-52.

65. *Неизвестнов Я.В., Куринный Н.А., Кондратенко А.В., Нарышкин Г.Д., Аветисов Г.П.* Инженерно-геологические условия строительства газопроводов на арктическом шельфе // Инженерно-геологические условия разработки полезных ископаемых морского дна. СПб, ВНИИОкеангеология, 1996. С. 5-14.
66. *Неизвестнов Я.В., Решетова О.В.* Инженерная геология шельфов морей Северного Ледовитого океана // Инженерная геология СССР. Шельфы СССР. М., Недра, 1990. С. 44-90.
67. *Неизвестнов Я.В., Семенов Д.П.* Подземные криопэги шельфа и островов Советской Арктики // II Международн. конф. по мерзлотоведению. Докл. и сообщ. Вып 5. Якутск: Кн. изд.-во 1973 с. 103 – 105.
68. *Объяснительная записка к геокриологической карте СССР масштаба 1:2500 000*, Геол. ф-т Моск. у-та, М, 1991, 127 с.
69. *Опасные экзогенные процессы / В.И.Осипов, В.М.Кутепов, В.П.Зверев и др / Под ред. В.И.Осипова.* М., ГЕОС, 1999, 290 с.
70. *Пискарёв А.Л.* Петрофизические модели земной коры Северного ледовитого океана. СПб, ВНИИОкеангеология, 2004, 134 с.
71. *Погребницкий Ю.Е.* Геологическая природа Арктики // Арктика на пороге третьего тысячелетия. СПб, Наука, 2000. С. 91-104.
72. *Попов А.И., Розенбаум Г.Э., Тумель Н.В.* Криолитология. М., изд-во МГУ, 1985, 239 с.
73. *Решетова О.В., Неизвестнов Я.В., Поляков Е.В.* Океанографические условия морей Северного ледовитого океана в связи с проблемой освоения минеральных ресурсов их шельфов / Морские инженерно-геологические исследования. СПб, ВНИИОкеангеология, 2003. С. 114-137.
74. *Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология / Главные редакторы Д.А.Додин, В.С.Сурков.* СПб, ВНИИОкеангеология, 2002. 960 с.
75. *Сергеев Е.М.* Инженерная геология. М., Изд-во МГУ, 1978, 384 с.
76. *Сергеев Е.М.* Охрана и рациональное использование геологической среды // Инженерная геология и геологическая среда. Докл. сов. геол. На XXVIII сес. Междунар. геол. конгр. (Вашингтон, июль, 1989). М., ВСЕГИНГЕО, 1989. С. 7-17.
77. *Словарь по гидрогеологии и инженерной геологии.* М., ВСЕГИНГЕО, 1961, 186 с.
78. *Смолдырев А.Е.* Методика и техника морских геологоразведочных работ. М., недра, 1978, 303 с.
79. *Соловьёв В.А.* Криолитозона шельфа и этапы её развития / Основные проблемы палеогеографии позднего кайнозоя Арктики. Л., Недра, 1983. С. 185-192.
80. *Спирidonов М.А., Рыбалко А.Е., Поляк Л.В.* Стратиграфия верхнечетвертичных отложений Новоземельского шельфа и палеогеография восточной части Баренцева моря в позднем плейстоцене-голоцене // Осадочный покров гляциального шельфа северо-западных морей России. СПб, ВСЕГЕИ, 1992. С. 47-67.
81. *Теоретические основы инженерной геологии.* Под ред. Е.М.Сергеева. Геологические основы (1985), физико-химические основы (1985), социально-экономические аспекты (1985), механико-математические основы (1986). М., Недра.
82. *Трофимов В.Т.* Зональность инженерно-геологических условий континентов Земли. М., Изд-во МГУ, 2002, 348 с.
83. *Трофимов В.Т., Королёв В.А., Герасимова А.С.* Классификация техногенных воздействий на геологическую среду // Геоэкология, 1995, №6.
84. *Хименков А.Н., Брушков А.В.* Океанический криолитогенез. М.: Наука, 2003, 336 с.
85. *Чеховский А.Л.* О распространении многомерзлых пород под шельфом Карского моря // Геокриологические исследования при инженерных изысканиях. Тр.ПНИИС т.28. М. 1972 с.100-123.
86. *Шитлов Э.В., Тарасов Г.А.* Региональная геология нефтегазоносных осадочных бассейнов Западно-Арктического шельфа России. Апатиты, КНЦ РАН, 1998, 306 с.

87. *Экологическая безопасность при освоении нефтегазовых месторождений на шельфе Карского моря*. Коллектив авторов. СПб, Изд.-во СПбГУ, 2004. 160 с.

88. *Bryant W., Slowey N. Final report. Geoacoustical, geotechnical and sedimentological survey of the Kara Sea, and the Ob and Jenisey rivers, Russian Arctic*. Texas University, 1994. 380 p.