

Комплексные инженерные изыскания при изучении потенциально опасных геологических процессов арктического шельфа

- Базилевич С.О., Казанина М.А., Жилин Ф.Е., Кочетов М.В., АО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция», г. Мурманск.
- Шепелев А.А., АО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция», г. Мурманск, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва.

Аннотация. Данная статья посвящена исследованию Южно-Карской нефтегазоносной области, важного продолжения Западно-Сибирского нефтегазового бассейна. В фокусе внимания – нефтегазовый потенциал данного региона, считаемого наиболее перспективным. Уникальные месторождения, такие как Русановское и Ленинградское, обнаруженные в 1989–1990 годах, а также более поздние открытия, подчеркивают интерес нефтегазовых компаний, включая ПАО «НК «Роснефть», ПАО «Газпром» и ПАО «Новатэк», к этому региону. В последнем десятилетии проводились поисково-разведочные работы, что привело к открытию нескольких уникальных и крупных месторождений.

Статья подчеркивает, что значительные объемы поисково-разведочного бурения в южной части Карского моря привели к увеличению разведанных запасов нефти и газа. Однако, в силу технологических и экономических причин, разведанные запасы газовых месторождений арктического шельфа пока не востребованы. Статья обсуждает сложности и факторы, влияющие на рентабельность освоения этих ресурсов, включая физико-географические особенности акваторий и необходимость создания новых технических средств.

Основной акцент делается на том, что, несмотря на значительные открытия месторождений, их освоение требует огромных финансовых затрат. Стратегия освоения углеводородных ресурсов арктического шельфа должна учитывать лучшие технико-экономические показатели по сравнению с альтернативными проектами. Статья также подчеркивает важность безопасности и необходимость учета экологических аспектов в смете затрат на разработку месторождений.

В заключении статьи отмечается, что открытые месторождения в Южно-Карском шельфе различаются по геоморфологическим условиям, что представляет собой вызов для технологий и требует глубокого изучения придонной части геологического разреза для минимизации рисков при проектировании сооружений нефтегазового комплекса.

Ключевые слова: арктический шельф, морские инженерные изыскания, магниторазведка, гравиразведка, сейсморазведка.

Введение

Южно-Карский бассейн, являющийся непосредственным продолжением Западно-Сибирского, в ряду шельфовых бассейнов Российской Арктики традиционно оценивается как наиболее перспективный в отношении нефтегазоносности. Уникальные по величине запасов Русановское и Ленинградское газоконденсатные месторождения в южной части Карского моря были открыты в 1989–1990 годах. В последнее десятиле-

тие нефтегазовыми компаниями, получившими лицензии на разработку участков шельфа (ПАО «НК «Роснефть», ПАО «Газпром») и территориального моря (ПАО «Новатэк»), проводятся поисково-разведочные работы, увенчавшиеся открытием ряда уникальных и крупных месторождений. В 2014 году в пределах Южно-Карского шельфа было открыто нефтегазовое месторождение Победа, с 2017 по 2020 годы открыты месторождения им. В.А. Динкова, Нярмейское, 75 лет

Победы, Северо-Обское, им. Маршала Жукова и Маршала Рокоссовского.

Число эксплуатируемых месторождений свидетельствует о том, что в настоящий период интенсивные объемы поисково-разведочного бурения, осуществленные за счет ресурсов недропользователей, были сосредоточены на шельфе южной части Карского моря. Этот регион уже хорошо изучен с точки зрения промышленной нефтегазоносности. Эти работы привели к значительному увеличению извлекаемых запасов: по сравнению с количественной оценкой ресурсов на 2017 год, запасы категорий А + В1 + С1 увеличились на 1075,2 млн тонн нефти эквивалентной продукции (319,5 %), а категорий В2 + С2 выросли на 1013,3 млн тонн нефти эквивалентной продукции (46,9 %). Газовая составляющая значительно преобладает в общем объеме нефтегазовых ресурсов южной части Карского моря, составляя 91,7 % от суммарного объема начальных извлекаемых ресурсов свободного и растворенного газа [Алексеева и др., 2023].

В связи с рядом технологических и экономических причин запасы газовых месторождений арктического шельфа пока остаются вне сферы активного интереса. Их освоение требует не только создания инновационных технических решений, но и значительных финансовых вложений. Рентабельность этих проектов зависит от множества факторов, включая физико-географические особенности акваторий, такие как глубина моря и ледовая обстановка в пределах шельфовых зон. Из-за сложного сочетания этих факторов лишь крупные месторождения, с ресурсами не менее 30–100 млн т нефти и 30–100, а иногда 100–500 млрд м³ газа, считаются рентабельными [Назаров и др., 2021].

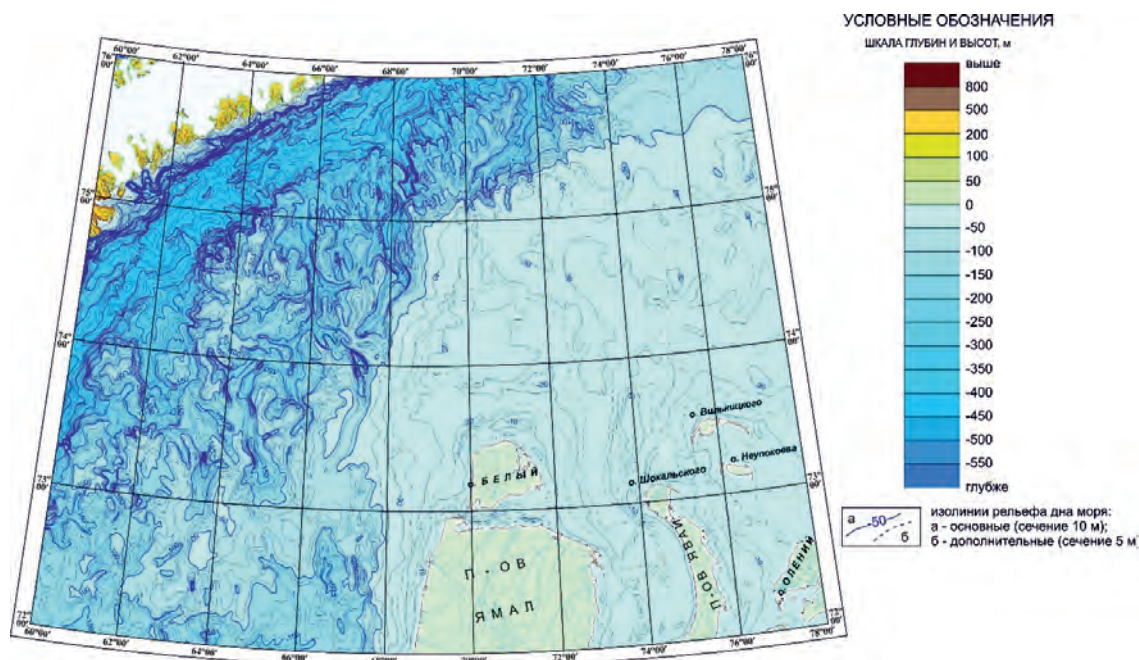
При стратегическом планировании

освоения ресурсов арктического шельфа следует учитывать, что шельфовые проекты должны демонстрировать лучшие технико-экономические показатели, чем альтернативные сухопутные проекты [Стратегическое управление..., 2019]. Именно поэтому недропользователи придают приоритет Южно-Карскому шельфу, где расположены уникальные месторождения с запасами газа от 350 до 1900 млрд м³.

В условиях арктического шельфа применяемые технологии должны обеспечивать полную безопасность на всех этапах работ. Финансовые ресурсы на резервирование средств для возмещения ущерба в случае чрезвычайных ситуаций и экологических происшествий должны быть включены в общие затраты на разработку месторождений [Назаров и др., 2021]. Учет таких расходов в стоимости шельфовых проектов может существенно повлиять на их технико-экономические показатели, подчеркивая необходимость бережного и устойчивого подхода к освоению арктических ресурсов.

Поэтому, с точки зрения оценки и минимизации рисков нефтегазодобывающих компаний при проектировании сооружений нефтегазового комплекса, чрезвычайно актуально максимально полное изучение строения придонной части геологического разреза: геоморфологических форм рельефа, литологии и генезиса современных и четвертичных отложений, пространственной локализации связанных с ними опасных и неблагоприятных геологических объектов и явлений [Базилевич и др., 2023а].

Открытые на сегодняшний день в пределах Южно-Карского шельфа месторождения расположены в различных геоморфологических условиях, отличающихся глубинами моря, расчлененнос-



▲ Рис. 1. Карта рельефа дна Южно-Карского бассейна [Государственная..., лист S-41-43, 2004].

тью современного и погребенного под новейшими осадками рельефа, мощностями и составом четвертичного покрова, распространением многолетнемерзлых пород. Соответственно, этими особенностями обусловлены те либо иные преобладающие проявления опасных геологических процессов.

Рельеф дна южной части Карского моря.

Строение современного рельефа дна обусловлено, в основном, изменениями условий морфолитогенеза. В позднем плейстоцене на шельфе Карского моря были сформированы комплексы ледникового, водно-ледникового, флювиального, палеомерзлотного и дегазационного рельефа (кратеры, формы газового пучения и др.), определившие его сложную морфологию. В эпоху последнего оледенения на осушенной поверхности шельфа сформировались аллювиальные равнины. В голоцене, в ходе неравномерного подъема уровня океана, они были затоплены и изменены береговыми и субаквальными процессами [Мирошников и др., 2021, Ворошилов и др., 2021].

Орографические элементы морского дна Южно-Карского шельфа (рис. 1) представлены Восточно-Новоземельским желобом, а также двумя ступенями: Западно-Карской и Обь-Енисейской (Ямало-Гыданским мелководьем) [Государственная..., лист S-41-43, 2004].

Восточно-Новоземельский желоб протягивается вдоль архипелага Новая Земля; его ширина составляет 60–80 км, а глубины днища местами превышают 400 м. Мощность рыхлых отложений в желобе мала (10–25 м). Восточный склон желоба нарушен густой сетью долин, которые нередко являются продолжением подводных долин Западно-Карской ступени. По мере погружения желоба в приустьевых участках некогда субаэральных долин стали доминировать процессы, подобные тем, которые наблюдаются в каньонах континентальных склонов. И в долинах, и на склонах желоба выявлены оползневые образования. В пределах восточного склона желоба расположено месторождение им. Маршала Жукова.

На Западно-Карской ступени (где находятся месторождения Ленинградское, Русановское, им. В.А. Динкова)

преобладают долины меридионального направления; ширина их составляет 10–20 км, глубина вреза 30–70 м. Для них характерны крутые склоны, коленообразные изгибы и замкнутые переуглубления дна (10–50 м, изредка более). Нередко эрозионный рельеф является унаследованным, в отдельных случаях в разрезе насчитывается до пяти генераций палеодолин. Предположительно, долины сформированы речной сетью при осушении шельфа в сартанское время.

Обь-Енисейская ступень – мелководная, с глубинами до 50 м, очень полого наклонена на север. Дно здесь выровнено во время голоценовой трансгрессии; в настоящее время его значительная часть подвержена воздействию волн, а на мелководьях – припайных льдов. В прибрежной зоне развиты термоабразия и термокарст. В северо-западной части этой ступени расположено месторождение им. Маршала Рокоссовского.

Опасные геологические объекты и явления.

Среди потенциально опасных геологических объектов на шельфе Карского моря выделяются области, где происходит развитие многолетнемерзлых грунтов. Также к ним относятся эрозионные палеоврезы и палеодепрессии, создающие определенные риски. Отмечаются также интервалы разреза с повышенной газонасыщенностью.

Многолетнемерзлые породы на шельфе Карского моря распространены преимущественно в мелководной зоне при глубине моря менее 100 м, образовались они в позднем криохроне позднего неоплейстоцена (верхневалдайско-сартанское время, 18–20 тыс. лет н.) в течение регрессии, когда рассматриваемая область обнажилась выше уровня моря [Рокос и др., 2009]. Мерзлые грун-

ты, в основном были вскрыты при глубинах моря 15–25 м, в интервале от 8 до 20 м ниже поверхности дна; их мощность составляет 20–40 м. Однако, на площади Русановского месторождения мерзлые породы были вскрыты скважинами при глубине моря около 100 м. Характерно, что в отличие от других районов распространения мерзлых грунтов, здесь отсутствуют проявления свободного газа.

В пределах зоны развития многолетнемерзлых пород наблюдается многозначная картина на сейсмоакустических разрезах, представляющая вызовы в интерпретации. Видны области с потерей сейсмической корреляции, резкие изменения в структуре волнового поля, а также амплитудные аномалии, приобретающие форму "ярких пятен", и разнообразные акустические неоднородности. На фоне отражающих границ, определенных литологией и стратиграфией осадочного покрова, проявляются отражения, связанные с процессами промерзания, деградации мерзлоты и газонасыщением. Все эти аспекты создают сложную и многогранную картину, требующую более глубокого исследования и тщательной интерпретации для полного понимания подлежащих процессов в данной геологической области. [Рокос и др., 2009].

Эрозионные формы современного и погребенного рельефа, такие как затопленные палеодолины и погребенные врезы, наиболее широко распространены на рассматриваемой площади (рис. 2). С пространственным положением сартанских речных палеодолин, заполненных аллювиальными и морскими отложениями (а, мIII4), обозначенных на карте четвертичных образований [Государственная..., лист S-41–43, 2004] хорошо совпадают контуры отрицательных структур, выделенных современными

детальными съемками (сейсморазведка сверхвысокого разрешения (2D ССВР), акустическое профилирование (АПр) и многолучевое эхолотирование (МЛЭ), в районе Восточного Приновоземелья [Замотина и др., 2022].

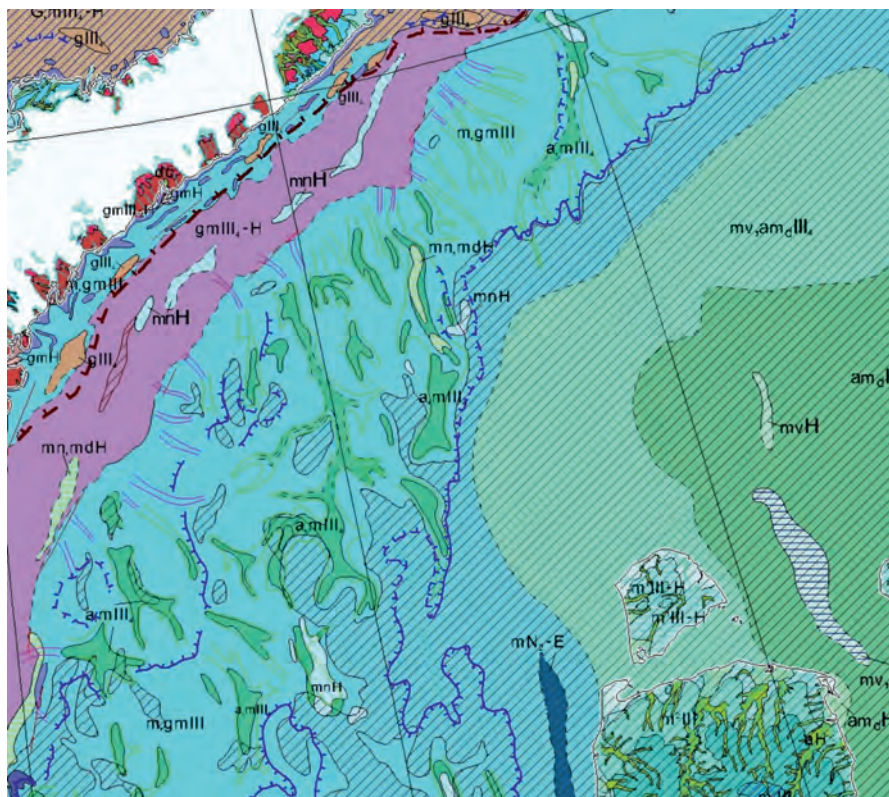
На этой площади обнаружены палеоврезы, которые хорошо выражены в современном рельефе и характеризуются плоскими днищами и относительно пологими бортами (около 2-7°). Максимальная протяженность этих структур составляет 17 км, ширина – 2 км, глубина – около 40 м. На сейсмических разрезах СВР прослеживается наличие слоистости и залегание выполняющих отложений с облеканием подстилающего погребенного рельефа, ниже отмечены признаки газонасыщенности что, вероятно, обусловлено деградацией островной мерзлоты. Внутреннее строение долин осложнено палеопонижениями, сформированными процессами термоэрозии.

Палеоврезы и палеодолины представляют потенциальные угрозы для нефте-

газовой инфраструктуры. Эти геологические формации, как правило, наполнены слабоконсолированными осадками, часто обладающими высокой степенью газонасыщенности и включениями крупнообломочного материала. В редких случаях палеоврезы могут сопровождаться линзами мерзлых грунтов [Колубакин и др., 2016]. Разработка инфраструктуры в контурах палеоврезов предполагает особую опасность, в данных областях не рекомендуется устанавливать платформы на гравитационном основании и вести строительство поисково-разведочных скважин. На таких участках часто возникают сложности при бурении, такие как провалы или прихваты инструмента, а также проблемы с поглощением бурового раствора и др.

В качестве одного из опасных геологических явлений в позднеплейстоценовых долинах Карского моря считается также процесс дегазации метана [Ворошилов и др., 2021]. По итогам морских экспедиционных работ в Карском море в 2019 и 2020 году на НИС «Академик Николай

► Рис. 2. Фрагмент карты плиоцен-четвертичных образований Южно-Карского шельфа [Государственная..., лист S-41–43, 2004], отражающий широкое распространение затопленных поздне-неоплейстоценовых (сартанских) палеодолин с развитием в их контурах аллювиально-морских отложений (а, mIII4) в пределах Западно-Карской ступени



Страхов» установлено, что газопроявления, которые могут оказывать негативное воздействие на хозяйственную деятельность, развиты в бортовых частях и днищах долин. Кроме того, вне долин наблюдаются многочисленные газовые воронки – покмарки, которые указывают на потенциально опасные зоны, где имели место выбросы газа.

Комплекс методов для картирования палеоврезов.

В ходе инженерно-геологических исследований, проведенных на нескольких участках в юго-западной части Карского моря, специалисты АО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция» (АО «МАГЭ»), оперирующие на собственном научно-исследовательском судне «Геолог Дмитрий Наливкин», предложили и успешно применили инновационные методики комплексирования геофизических методов для более точного определения границ залегания погребенных палеоврезов. В рамках этого процесса использовались разнообразные технологии, включая высокоразрешающую сейсморазведку (СВР), высокочастотное (ВЧ) и низкочастотное (НЧ) непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НЧАП), электроразведочные работы (ЗСБ), гидролокацию бокового обзора (ГЛБО), гидромагнитную съемку, экспериментальные наборные гравиметрические измерения, а также гидрографические и геотехнические методы. [Казанин и др., 2023; Базилевич и др., 2023б, Кочетов и др., 2023].

В отличие от стандартного комплекса методов при инженерных исследованиях, авторами предложена методика выполнения гидромагнитной съемки, включающая одновременное использование градиентометра и магнитовариационной станции. Данное совмещение

позволяет получать высокоточные магниторазведочные данные и повысить достоверность последующей комплексной интерпретации геофизических данных. Также обосновано включение в этот комплекс гравиметрических исследований. Данные методические особенности позволяют выполнять более полное комплексирование данных потенциальных полей и сейсморазведочных исследований с целью локализации и уточнения природы потенциальных геологических опасностей.

Аппаратура и методика съемок.

Сейсморазведка высокого разрешения осуществлялась по сети профилей с фланговой расстановкой (расстояние между рядовыми профилями – 100 м, между секущими – 500 м) с применением сейсмической косы фирмы Sercel, включающей 192 канала с расстоянием между центрами групп гидрофонов в 6,25 м. Глубина буксировки косы составила 4 м, длина приёмной линии – 1200 м.

Низкочастотное непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НЧ НСАП) было проведено по аналогичной сети профилей с использованием метода, обладающего значительно более высокой частотой (270-575 Гц) с целью получения дополнительной детализации строения верхнего слоя разреза. Для этого использовались 48-канальные пьезокосы Geo-Sense Ultra Hi-Res 48 Channel Streamer.

Гидромагнитная съемка проводилась одновременно с низкочастотным непрерывным сейсмоакустическим профилированием (НЧ НСАП) с использованием передовой дифференциальной методики. Для этого были задействованы два буксируемых друг за другом цифровых магнитометра SeaSPY2, оборудованных встроенными датчиками глубины. Точ-

ность измерений датчиков SeaSPY2 достигала 0,1 нТл, что обеспечивало высокую точность данных.

Для более точного определения высоты над дном магнитометр был оснащен высокоточным эхолотом с частотой 200 кГц. Буксировка магнитометров осуществлялась на постоянном расстоянии от кормы в 216 метрах, что соответствовало тройной длине судна. Это производилось на высоте 10–20 метров над дном, обеспечивая оптимальные условия для эффективной гидромагнитной съемки.

Измерения ускорения силы тяжести осуществлялись с использованием морского набортного гравиметра "Чекан-АМ". Гравиметр активировался в момент выхода судна из порта города Мурманска и находился в активном режиме в течение всего морского плавания.

Анализ гравимагнитных данных осуществлялся с использованием программного комплекса Geosoft Oasis montaj [Базилевич и др., 2023]. Применение магнитовариационной станции позволило существенно повысить эффективность гидромагнитной съемки, чему свидетельствует средняя квадратичная погрешность (СКП) после уравнивания полиномами, составившая $+1,2 \div +1,1$ нТл. Полученные уравненные значения поля были использованы для расчета цифровых моделей аномального магнитного поля с интерполяцией по ячейкам размером 25 метров.

Среди ключевых результатов стоит отметить, что СКП гравиметрических данных после уравнивания полиномами составила всего +0,1 мГал. Рассчитанные цифровые модели аномалий поля силы тяжести, с интервалом интерполяции 25 м, были редуцированы до условного уровня в свободном воздухе. Для мини-

мизации влияния остаточных помех, не связанных с геологическими факторами, было проведено пересчет полей в верхнее полупространство на высоту 50 метров.

Результаты интерпретации.

Высокоточные гидромагнитные и гравиметрические изыскания открывают возможность выявления тонких аномалий с минимальной амплитудой, источники которых скрыты в верхних слоях земной коры, а также детально проследить их границы в плане.

На изученной территории, в юго-западной ее части, выявлены локальные аномалии магнитного поля, представленные узкими линейными зонами с западным – северо-западным направлением. Амплитуды этих аномалий значительно превышают погрешность наблюдений (рисунок 3, а). Средняя амплитуда положительных аномалий составляет 6–10 нТл, достигая максимальных 14 нТл.

В области аномалий силы тяжести также наблюдается характерная изогнутая линейная зона с положительными амплитудами, направленная от запада к северо-западу и переходящая в северное направление, с интенсивностью 1–2 мГал (см. рисунок 3, б). Эта выделенная аномалия в поле силы тяжести не имеет связи с морским дном и его рельефом (рисунок 3, в), что является подтверждением того, что выявленные аномалии отражают геологические неоднородности в осадочном чехле.

Это подтверждается результатами интерпретации сейсморазведочных данных: в волновой картине уверенно отображаются очертания погребенного вреза (рис. 4, а), который прорезает подстилающие отложения палеогена – верхнего мела, характеризующихся отражающими горизонтами: Н1 – Н4. По резуль-

татам сопоставления с разрезами удаленных на 7-18 км скважин, отражающий горизонт Н1 прослеживается в подошве четвертичных – кровле палеогеновых образований, горизонт Н2 относится к границе верхнего мела – нижнего-среднего палеогена, горизонт Н3 к кровле, Н4 – к подошве кампана (березовской свиты, по региональной шкале Западной Сибири). Границы Н3.1 и Н3.2 прослеживаются внутри маастрихтского комплекса отложений (ганькинской свиты).

Верхняя часть вреза отличается относительно прозрачной сейсмической записью, с неясно выраженной слоистостью, а нижняя часть, с уровня подошвы палеогеновых отложений (ОГ Н2) характеризуется хаотическими отражениями повышенной амплитуды. По-видимому, такой характер волновой картины отражает заполнение нижней части вреза аллювиальными русловыми фациями с преобладанием грубообломочной фракции.

По комплексу данных (значениям аномалий поля силы тяжести в свободном воздухе, глубин дна моря и сейсмоакустическому профилю) был построен сейсмоплотностной разрез (рис. 4, б). В результате подбора плотностных параметров 2D-модели было установлено, что породы, заполняющие врез, характеризуются избыточной плотностью 0,1 г/см³ по сравнению с вмещающими слоями палеогеновых – верхнемеловых отложений, ограниченных отражающими горизонтами Н1-Н4, что соответствует аномалии в 1 мГал [Кочетов и др., 2023]. С учетом прямой зависимости скорости распространения сейсмических волн от плотности горных пород, можно обоснованно предположить, что антиклинальный перегиб отражений Н3 и Н4 под врезом обусловлен, с высокой вероят-

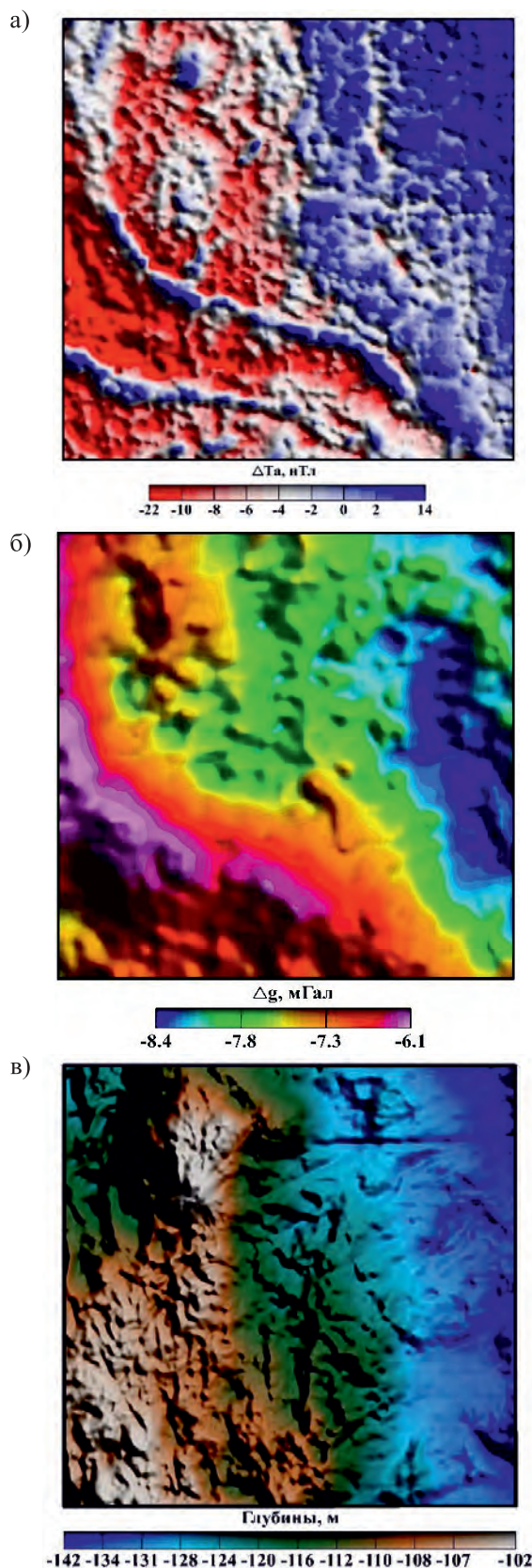
ностью, не геологической структурой, а скоростной аномалией.

Приведенный пример демонстрирует возможности комплекса геофизических методов для прослеживания погребенного, не отражающегося в современном рельефе дна, эрозионного вреза с оценкой физических свойств и возможного генезиса заполняющих его отложений. Следует отметить и не совсем типичную повышенную плотность новейших плиоцен-четвертичных отложений внутри вреза по сравнению с вмещающими коренными породами.

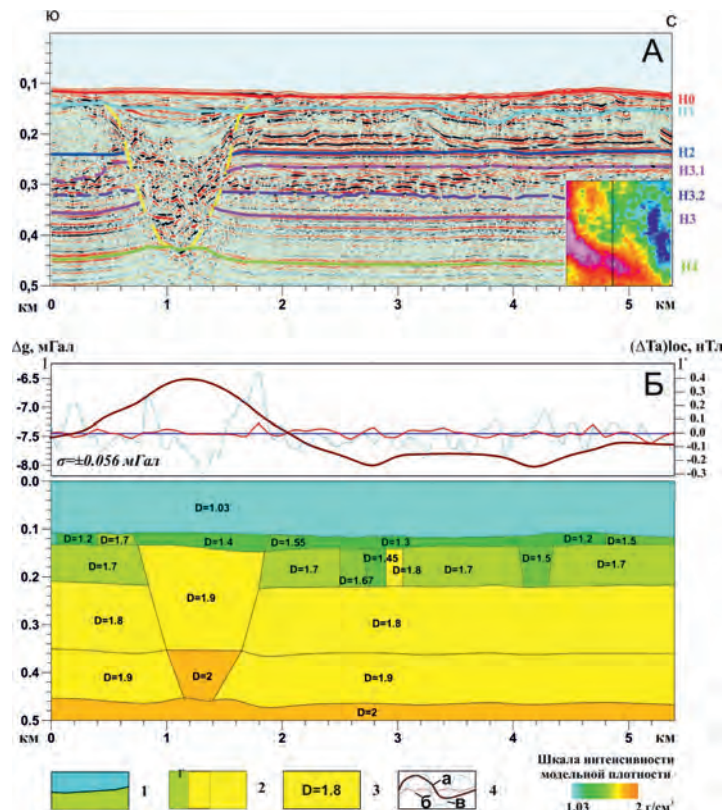
Одной из выявленных в арктических морях особенностей эрозионных врезов является приуроченность к ним линз мерзлых грунтов, реликтовых или же новообразований, формирующихся вследствие вторичного субаквального промерзания на глубинах моря с отрицательной температурой придонных вод [Рокос и др., 2009, Колюбакин и др., 2016].

На Южно-Карском шельфе за пределами прибрежных зон распространение многолетнемерзлых пород имеет островной (очаговый) характер, в этой части шельфа с глубинами моря 50-100 м и более линзы мерзлых грунтов могут создавать эффект «ложного вреза» и другие акустические неоднородности. Интерпретация сейсморазведочных данных сталкивается с вызовами, когда речь идет о точной идентификации формаций и определении их генезиса. В некоторых случаях, сведения полученные от сейсмических исследований, не позволяют с абсолютной уверенностью раскрывать происхождение данных образований и точно определять их генетическую природу.

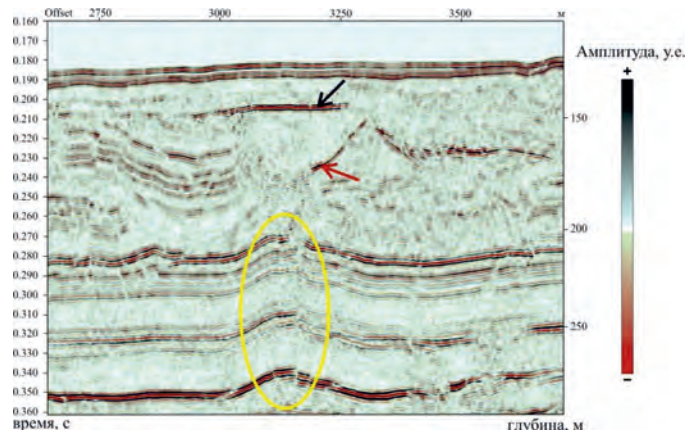
Так, на рис. 5 показан пример сейсмоакустической записи, где на глубине 15-18 м под дном расположена аномальная



▲ Рис. 3. Цифровые модели: а) локальной составляющей аномального магнитного поля, б) аномального поля силы тяжести в редукции свободный воздух (уровень условный) в) рельефа дна по данным многолучевого эхолотирования.



▲ Рис. 4. Сейсморазведочный разрез по данным СВР (сверху), 2D сеймоплотностной разрез (снизу): 1 — сейсмические отражающие горизонты, 2 — границы блоков двумерного плотностного моделирования, 3 — модельная плотность, 4 — вычисленный и наблюдаемый график аномалий поля силы тяжести в редукции свободного воздуха: а — Δg , мГал; б — σ , мГал: график невязки вычисленных и наблюдаемых значений Δg ; в — $(\Delta Ta)_{loc}$, нТл: график локальной составляющей АМП, по [Кочетов и др., 2023].



▲ Рис. 5. Отображение на сейсмоакустическом разрезе НЧ НСАП линзы мерзлых грунтов, создающей эффект «ложного вреза» по [Казанин и др., 2023].

зона, которую можно отождествить с линзой мерзлых пород, напоминающей по форме врез. В кровле эту линзу ограничивает динамически выраженное, параллельное дну моря, отражение, снизу – менее яркое дугообразное. Изгиб кверху подстилающих границ свидетельствует о наличии скоростной аномалии. В отличие от приведенной выше картины сейсмической записи внутри реального эрозионного вреза речной палеодолины, здесь аномальная зона акустически прозрачная.

Этот анализ наглядно подчеркивает неотъемлемую важность совместного применения разнообразных геофизических методов вместе с сейсморазведкой. Такой комплексный подход позволяет осуществлять не только точное моделирование плотности, но и анализ геомагнитных данных для детального выявления характера разнообразных структур в верхних слоях осадочного чехла Южно-Карского шельфа. Эта неоднородность особенно актуальна в контексте широкого распространения эрозионных форм морского дна и интенсивного развития криогенных процессов в данном регионе. Подобное взаимодействие множества методов обеспечивает более глубокое исследование природы подземных образований, что является ключевым в понимании сложной геологической динамики данного района.

Заключение.

Приведенные в статье результаты комплексной интерпретации данных высокоточных гидромагнитных исследований, гравиметрических наблюдений, сейсморазведки СВР, сейсмоакустического профилирования НЧ НСАП показали высокую эффективность методов локализации и трассировки границ палеоврезов. Подчеркивается, что при благопри-

ятных условиях мы можем достигать надежного выделения аномалий даже в пределах 0,1–0,2 мГал. Уникальность данного исследования заключается в том, что комплексная интерпретация потенциальных полей, совмещенная с данными сейсморазведки, предоставляет нам точное представление не только о распространении эрозионных врезов, но и о других потенциально опасных геологических и техногенных объектах. Это важное открытие, расширяющее наши знания о природе и размещении различных геологических формаций в изучаемом регионе. Особенно важно отразить в этом процессе роль гравиметрии в комплексе методов, с помощью которых можно выявить различные геологические неоднородности в разрезе, опасные для постановки плавучих буровых установок, дать рекомендации по выбору точки для установки платформы и безопасного проведения бурения. Комплексная интерпретация подтверждает высокую чувствительность гравиметрии и магнитометрии, а также успешное взаимодействие этих методов при морских инженерных исследованиях. Современные высокоточные приборы открывают возможность анализа мельчайших структур геофизических полей. Совместно с новейшими техниками обработки и интерпретации данных, это значительно улучшает достоверность итоговых геологических результатов, полученных в ходе исследований.

Список литературы

1. Алексеева А.К., Арутюнян С.С., Васильева О.А., Зуйкова О.Н., Хохлова Ю.Н., Прокопцева С.В. Актуализация количественной оценки ресурсов нефти, газа и конденсата континентального шельфа Российской Федерации по состоянию на 01.01.2017 г. — результаты и

перспективы // Геология нефти и газа. – 2023. – № 4. – С. 69–83.

2. Базилевич С.О., Казанина М.А., Жилин Ф.Е., Шепелев А.А., Кочетов М.В. Разработка и внедрение методики высокоточных гидромагнитных и набортных гравиметрических исследований при инженерных изысканиях на шельфе // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2023а – №4 (79). С. 32–38.

3. Базилевич С.О., Казанина М.А., Жилин Ф.Е., Шепелев А.А., Кочетов М.В. Высокоточные гидромагнитные и набортные гравиметрические исследования при инженерных изысканиях на шельфе // Гелиогеофизические исследования. – 2023б, выпуск 41, с. 27–33.

4. Ворошилов Е.В., Мороз Е.А., Соколов С.Ю., Ананьев Р.А. Опасные геологические процессы в позднеплейстоценовых долинах Карского моря // Тез. конф. «Морские технологии 2021» — Геленджик, Россия, 26-30 апреля 2021 г.

5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000 000 (новая серия). Лист S-41–43 (о. Белый). Объяснительная записка / отв. ред. С.И. Шкарубо; глав. ред. Б.Г. Лопатин. – СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2004. 206 с. +3 вкл. (МПР России, Роснедра, МАГЭ, ВНИИОкеангеология, ПМГРЭ).

6. Замотина З.С., Терёхина Я.Е., Рыбалко А.Е., Репкина Т.Ю., Колюбакин А.А. Особенности распространения эрозионно-аккумулятивных форм рельефа в северной части Восточно-Приновоземельского района Карского моря // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. Выпуск 9. 2022. С. 91–95.

7. Казанин А.Г., Шепелев А.А., Коснырева М.В., Жилин Ф.Е., Демонов А.П., Кочетов М.В. Комплексирование данных сейсморазведки и магниторазведки при

анализе палеоврезов и палеопонижений шельфа Карского моря // Приборы и системы разведочной геофизики. 2023. №3 (78). С. 131–139.

8. Колюбакин А.А., Миронюк С.Г., Росляков А.Г., Рыбалко А.Е., Терехина Я.Е., Токарев М.Ю. Применение комплекса геофизических методов для выявления опасных геологических процессов и явлений на шельфе моря Лаптевых. Инженерные изыскания. 2016, № 10-11, с. 38-51.

9. Кочетов М.В., Шепелев А.А., Челышев С.В. Возможности набортных гравиметрических и гидромагнитных исследований при решении инженерно-геологических задач на шельфе // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2023. № 3. С. 88–97.

10. Мирошников А.Ю., Бадюков Д.Д., Флинт М.В., Репкина Т.Ю., Асадулин Э.Э., Шарапов А.М., Комаров В.Б., Усачева А.А. Рельеф дна Карского моря и сорбционные свойства осадков как факторы аккумуляции загрязнений // Океанология, 2021, том 61, № 5. С. 809–821.

11. Назаров В.И., Григорьев Г.А., Краснов О.С., Медведева Л.В. Экономическая оценка углеводородной сырьевой базы Арктического шельфа России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2021. – Т. 16. – № 1. – http://www.ngtp.ru/rub/2021/9_2021.html

12. Рокос С.И., Длугач А.Г., Локтев А.С., Костин Д.А., Куликов С.Н. Многолетнемерзлые породы шельфа Печорского и Карского морей: генезис, состав, условия распространения и залегания // Инженерные изыскания. 2009. № 10. С. 38-41.

13. Стратегическое управление нефтегазовым комплексом в Арктике // А.М. Фадеев, А.Е. Череповицын, Ф.Д. Ларичкин. – Апатиты: КНЦ РАН, 2019. – 289 с.