

Министерство природных ресурсов Российской Федерации
Федеральное агентство по недропользованию
Российская академия наук
Всероссийский научно-исследовательский институт геологии
и минеральных ресурсов Мирового океана (ВНИИОкеангеология)

**ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ВНИИОКЕАНГЕОЛОГИЯ
в 2006 году**

Ежегодный обзор



Санкт-Петербург
2007

УДК [550.8+574].001.5

Экспедиционные исследования ВНИИОкеангеология в 2006 году // Ежегодный обзор. — СПб., ВНИИОкеангеология, 2007. 67 с. (МПР РФ, РАН, ВНИИОкеангеология).

ISBN 978-5-88994-080-7

В сборнике представлены предварительные материалы экспедиционных исследований, проведенных ФГУП «ВНИИОкеангеология» в 2006 году. В состав экспедиционных работ входили морские геологические, геофизические и геоэкологические исследования.

Сборник представляет интерес для широкого круга специалистов, занимающихся проблемами морской геологии, геофизики и геоэкологии.

Научный редактор: докт. геол.-минер. наук *Г.А. Черкашёв*

Фото на обложке *Е.В. Михальского*

ISBN 978-5-88994-080-7

© ВНИИОкеангеология, 2007
© Коллектив авторов, 2007

Содержание

Введение	4
Геологическая съемка шельфа Чукотского моря масштаба 1:1 000 000, листы R-1, R-2. <i>Гусев Е.А., Егоров Ю.П., Криницкий П.И., Рекант П.В., Анохин В.М., Кириевская Д.В., Рудой А.С.</i>	5
Экспедиционные работы в Охотском море по изучению скоплений газовых гидратов (проект СНАОС-III). <i>Мазуренко Л., Обжиров А., Джин Я., Логвина Е., Бекетов Е, Гладыш В., Саломатин А., Кида М., Смирнов Б., Сазонов А., Нишио С., Матвеева Т., Куликова М.</i>	16
Геоэкологические исследования в северной части Обской губы. <i>Мотычко В.В., Николаев В.В., Константинов В.Н., Слинченков В.И., Соколов Г.Н.</i>	21
Инженерно-геологические изыскания на лицензионных участках «Кольский-1», «Кольский-2» и «Кольский-3». <i>Ванштейн Б.Г., Гладыш В.А., Елизаров В.Н., Зинченко А.Г., Иванов М.В., Каминский Д.В., Касьянкова Н.А., Куринный Н.А., Минаков А.Н., Никулин В.В., Портнов А.Д., Разуваева Е.И., Рахманов А.Е., Рекант П.В., Смирнов Б.Н., Семенов П.Б., Сысоев Л.Р., Фирсов Ю.Г., Черкашева А.Г.</i>	29
Экспедиционные работы на западном побережье полуострова Таймыр (Енисей-2006). <i>Васильев А.А., Медведева М.А., Стрелецкая И.Д., Копытов И.В., Гусев Е.А., Каменцев Л.И.</i>	43
Экспедиционные исследования на побережье Югорского полуострова. <i>Лейбман М.О., Передня Д.Д., Хомутов А.В., Дмитриев В.А.</i>	51
Поиски остаточных, вторичных и рассеянных залежей углеводородов на примере нефтяного месторождения Да Чин (КНР). <i>Глинская Н.В., Прялухина Л.А., Мищенко О.Н., Тимичева В.М., Паламарчук В.К.</i>	54
Исследования Псковско-Палдисской зоны разлома с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций в системе «берег—море» Северо-Запада России. <i>Глинская Н.В., Мищенко О.Н., Паламарчук В.К., Прялухина Л.А., Тимичева В.М.</i>	59

Введение

Публикация результатов полевых исследований ВНИИОкеангеологии была начата в 2003 г. и с тех пор стала традиционной. Несмотря на то, что в этих ежегодных сборниках приводятся экспедиционные материалы, которые прошли только первичную обработку и почти не проинтерпретированы, очевидным достоинством публикуемых материалов является «свежесть восприятия» исполнителей, часто теряемая со временем. Особенностью этих выпусков также является возможность акцентирования на методических вопросах и включения в текст большого количества иллюстративного материала.

Полевой сезон 2006 г. в Институте был традиционно разнообразен в географическом плане: работы проводились в Арктике — в Баренцевом, Карском и Чукотском морях, на Дальнем Востоке — в Охотском море, в Антарктике и в Атлантическом океане. Учитывая сезонные особенности антарктических и океанских работ, их результаты будут опубликованы в следующем сборнике. Помимо основных морских геологических исследований, сотрудники института принимали участие и в береговых работах на Югорском полуострове, и на побережье Балтийского моря, а также в сугубо сухопутных экспедициях в Китае.

Как и в предыдущие годы, основными задачами было изучение геологического строения морского дна, поиск различных видов полезных ископаемых и анализ состояния геологической среды (в том числе опасных геологических процессов) с точки зрения геоэкологии.

Среди выполненных работ хочется особо выделить проведение геологической съёмки шельфа Чукотского моря. В силу ряда причин исполнителям пришлось работать в исключительно трудных судовых обстоятельствах, осложняемых суровыми погодными условиями. К чести коллектива, они не только выдержали все испытания, но и выполнили в полной мере плановое геологическое задание.

В западной Арктике выполнялась программа опережающего геоэкологического картирования в северной части Обской губы, а также контрактные (с ОАО «Севернефтегаз») работы по инженерной геологии вблизи Кольского полуострова. Кроме того, в ходе полевых работ в устье Енисея изучались четвертичные отложения и динамика береговых процессов.

В дальневосточном регионе продолжились работы по выявлению и изучению нового высокоперспективного нетрадиционного источника углеводо-

родного сырья — подводных газовых гидратов. Экспедиция 2006 г. принесла новые открытия, значительно расширила область распространения скопленных газовых гидратов и вновь утвердила Охотское море в качестве наиболее перспективного газогидратоносного региона на Российских акваториях.

Продолжается разработка, испытание и внедрение в геолого-разведочную практику различных полевых аппаратурно-методических комплексов. В упомянутых выше работах в Чукотском море впервые была успешно использована установка многорейсового бурения, а на побережье Финского залива были продолжены исследования с комплексной мобильной установкой «Сейсмолаборатория».

В проведении экспедиционных работ Институт традиционно использует возможности широкой научной кооперации. К числу организаций-партнёров относятся предприятия и институты МПР России (Севморгео, ВСЕГИНГЕО), Российской академии наук (ТОИ ДВО РАН, ИКЗ СО РАН), Росгидромета (ГНЦ ААНИИ), ГУНИО МО (Гидрографическая служба СФ), МГУ (Географический факультет), а также зарубежные партнёры (Украина, Япония, Китай, Южная Корея и др.). Всем им хочется выразить благодарность за сотрудничество и выразить надежду на выполнение будущих совместных проектов.

Как и в прежние годы, в составе полевых отрядов преобладают молодые научные сотрудники, набирающиеся опыта у старших коллег и приобретающих собственный фактический материал для будущих статей, монографий и диссертаций. В значительной степени представленные материалы подготовлены именно молодыми специалистами Института.

Очевидно, что без поступления новых полевых материалов не может существовать ни одна геологическая организация. Тем более приятно отметить, что количество и качество получаемых экспедиционных данных с применением новых технологий и методических приёмов приобрело во ВНИИОкеангеологии устойчивый, стабильный характер. Всё это в сочетании с планами расширения и развития экспедиционных исследований позволяет оптимистично оценивать перспективы развития морской геологической науки в головном научно-исследовательском институте МПР России по работам в Арктике, Антарктике и Мировом океане — ВНИИОкеангеологии.

Заместитель директора ВНИИОкеангеология
Г.А. Черкашён

Геологическая съемка шельфа Чукотского моря масштаба 1:1 000 000, листы R-1, R-2

Полевые исследования в 2006 г. были проведены в соответствии с проектом по объекту 4-31 «Создание комплекта Государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 листов R-1 (о. Врангеля) и R-2 (Чукотское море)». Для проведения геолого-съемочных работ был арендован морской буксир-спасатель «Шуя» (рис. 1). Судовладельцем является закрытое акционерное общество «РИМСКО», г. Владивосток. Выбор морского буксира был определен параметрами, необходимыми для выполнения буровых работ. Для этого необходимо наличие грузовой стрелы с грузоподъемностью не менее 5 т и возможностью подъема бурового снаряжения над палубой на высоту 6 м. Необходимым условием для выполнения буровых работ является также возможность постановки судна на 3 якоря (два носовых и один кормовой).

Площадь листов R-1 и R-2 охватывает юго-восточную часть акватории Чукотского моря до линии разграничения морских пространств в Чукотском море между Российской Федерацией и США, восточную часть острова Врангеля и северо-западный участок Чукотского полуострова. Участки суши относятся к Чукотскому автономному округу. Координаты объекта: 68°—72° с.ш. 180°—169° з.д. Глубины моря вблизи материка и островов составляют 10—25 м, увеличиваясь в центре района до 50—75 м.

Часть участников экспедиции прибыла во Владивосток заранее для подготовки судна и монтажа бурового оборудования. Морской буксир «Шуя» вышел из Владивостока 8 августа и прибыл в Анадырь через 10 дней, здесь к экспедиции присоединилась часть участников, прибывших из Санкт-Петербурга на самолете. Работы на полигоне были начаты 21 августа. В течение первых 10 дней был отработан западный участок полигона — от мыса Шмидта до острова Врангеля. Затем произошла поломка главных двигателей судна. 12 дней неуправляемый корабль дрейфо-



Рис. 1. Морской буксир-спасатель «Шуя».

вал со сломанными главными двигателями по Чукотскому морю, пока его не вынесло к острову Геральда. 12 сентября в штормовых условиях экипажу буксира «Шуя» удалось завести на короткое время один из главных двигателей, благодаря чему было предотвращено крушение судна о скалы острова Геральда. Неподалеку от острова удалось встать на якорь, после чего пришлось прождать еще 14 дней. 26 сентября из Владивостока на помощь пришел буксир-спасатель «Напористый». С ним были закончены работы в центральной, южной и восточной частях полигона, после чего «Шуя» была отбуксирована во Владивосток. Участники экспедиции высадились в Анадыре, затем самолетом улетели в Санкт-Петербург.

Методика проведения работ

Полевые работы проведены только на акватории, так как Чукотское море очень слабо изучено. Одним из наиболее важных методов является сейсмоакустическое профилирование, которое вместе с профилографом и сонаром проведено по всей площади листа, частично — вдоль линий сейсмических профилей МОВ ОГТ, выполненных в 1990 г. трестом «Дальморнефтегеофизика». Кроме этого, выполнялись геологические станции с отбором проб дночерпателем и грунтовой трубой и многорейсовое неглубокое бурение.



Рис. 2. Буксируемый модуль гидроакустического комплекса.

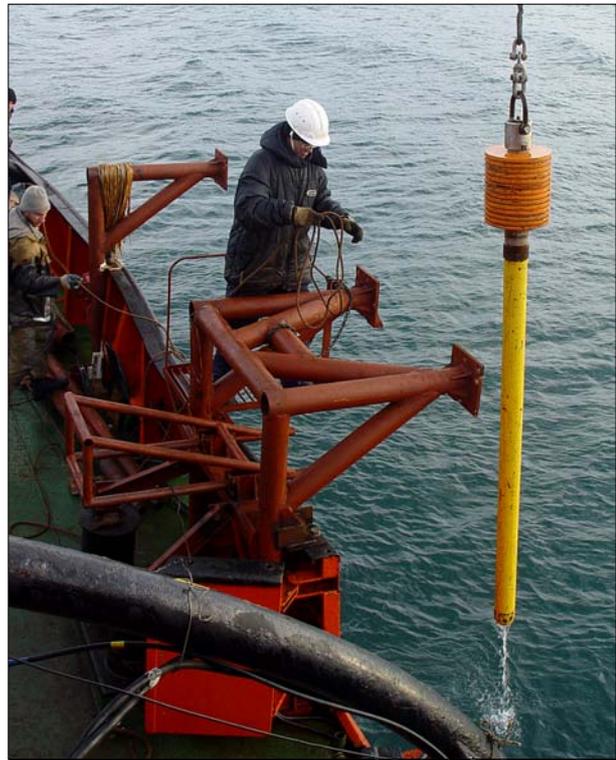


Рис. 3. Работа с прямоточной трубой.

Непрерывное сейсмоакустическое профилирование. Для проведения НСП использован сейсмоакустический комплекс «СОНИК-4М», состоящий из источника возбуждения электроискрового типа и одноканального приемного устройства.

Программное обеспечение комплекса позволяет производить визуализацию получаемой сейсмоакустической информации на экране, записывать сейсмоакустическую и навигационную информацию, получаемую через интерфейс RS-232, на жесткий диск с последующей обработкой и распечаткой материалов и сохранением на CD и DVD носителях. Оборудование комплекса сертифицировано Комитетом по стандартизации, метрологии и сертификации.

Вычислительный модуль обработки и регистрации сигналов на базе процессоров PENTIUM и ADSP21XX, оснащенный 32-канальным 16-разрядным аналого-цифровым преобразователем, устройством для записи CD и DVD. Формат сейсмических данных: SEG-Y, SS и PVG. В рейсе в качестве источника возбуждения использован спаркер с 40 электродами и энергией 2000 Дж. Период следования разрядов — 2—3 с. Спаркер буксировался в 10—20 метрах от среза кормы судна с заглублением 0,4—0,6 м. Прием осуществлялся на 15-метровую сейсмокосу, подключенную ко входу 6-канальной сейсмостанции

(режим приема «ЦЛ»). Коса буксировалась на расстоянии 40 метров от среза кормы. Для получения оперативной информации (для выбора точек пробоотбора, корректировки новых галсов и пр.) осуществлялся экспресс-вывод полевого материала на принтере.

Съемка поверхности дна гидролокатором бокового обзора и акустическое профилирование. Для изучения геоморфологического строения морского дна и верхней толщи осадочных пород в западной и северной частях листа использован гидроакустический комплекс «СОНИК-М241», состоящий из гидроакустического профилографа (АП), высокочастотного гидролокатора бокового обзора (ГБО) и спутникового приемника (GPS). Подводный модуль гидроакустического комплекса состоит из антенны профилографа и антенн ГБО, собранных в общую конструкцию, имеющую форму, близкую к каплевидной. Подводный модуль (рис. 2) буксировался за кормой судна-носителя. Такой способ наиболее предпочтителен в условиях малых глубин акватории.

Антенна спутникового приемника устанавливается в наиболее открытом месте, в котором горизонт просматривается во все стороны и отсутствуют видимые зрительные преграды. При этом обеспечивается прием навигационной информации от максимального количества спут-



Рис. 4. Буровая бригада у направляющих стоек при опускании бурового снаряда.



Рис. 5. Донная рама с направляющей воронкой перед спуском на дно.

ников, что ведет к улучшению точности определения координат геофизической съемки.

Донный пробоотбор с помощью дночерпателя и грунтовой трубы. Для донного пробоотбора использовался дночерпатель «Океан-0,25» и прямоточная грунтовая труба (рис. 3).

Полученный материал из грунтовых трубок и дночерпателей будет подвергнут аналитическим исследованиям: гранулометрическому, минералогическому, определению $C_{орг}$, состава нефтепродуктов, микропалеонтологическому, споро-пыльцевому и др. анализам.

Донный пробоотбор с помощью установки многорейсового бурения. При проведении полевых геолого-съемочных работ на шельфе Чукотского моря использовалось новое оборудование для бурения неглубоких скважин, которое может использоваться с неспециализированных судов. Установка, разработанная кафедрой «Технология и техника геолого-разведочных работ» Горно-геологического факультета Донецкого национального технического университета, может использоваться на глубинах моря до 100 м и при незначительном объеме рыхлого чехла получать его полный разрез.

Установка состоит из бурового насоса, направляющих стоек, крепящихся к борту судна (рис. 4), донной рамы с направляющей воронкой (рис. 5), гидроударного бурового снаряда, водо-

подающей магистрали, двух лебедок и цистерны для воды.

Связь судна с установкой при работе осуществляется посредством грузового троса и шланга, т.е. нет необходимости в применении бурильной колонны, а следовательно, и в применении специального бурового оборудования, требующего соответствующего оснащения судна.

Результаты работ

В результате проведения работ было отработано 17 профилей НЧ сейсмоакустики (1950 км), 5 профилей ВЧ сейсмоакустики с ГБО (более 500 км), 100 точек донного опробования дночерпателем и грунтовой трубой, 3 скважины глубиной 5,5, 12 и 3,5 м (рис. 6).

Сейсмоакустическое профилирование. Всего в ходе экспедиции было получено около 1950 пог. км профилей НСП НЧ и около 150 пог. км профилей НСП ВЧ. Оба аппаратных комплекса показали хорошие результаты.

Профилирование НСП НЧ проводилось на региональных профилях для освещения всей толщи четвертичных образований и верхней части разреза коренных пород. Применение данного аппаратного комплекса оказалось весьма эффективным для решения поставленных задач. Максимальное проникновение сигнала в регионе достигало 400 мс (рис. 7) при вертикальном разрешении 3—5 м в верхней части разреза и 10—20 м

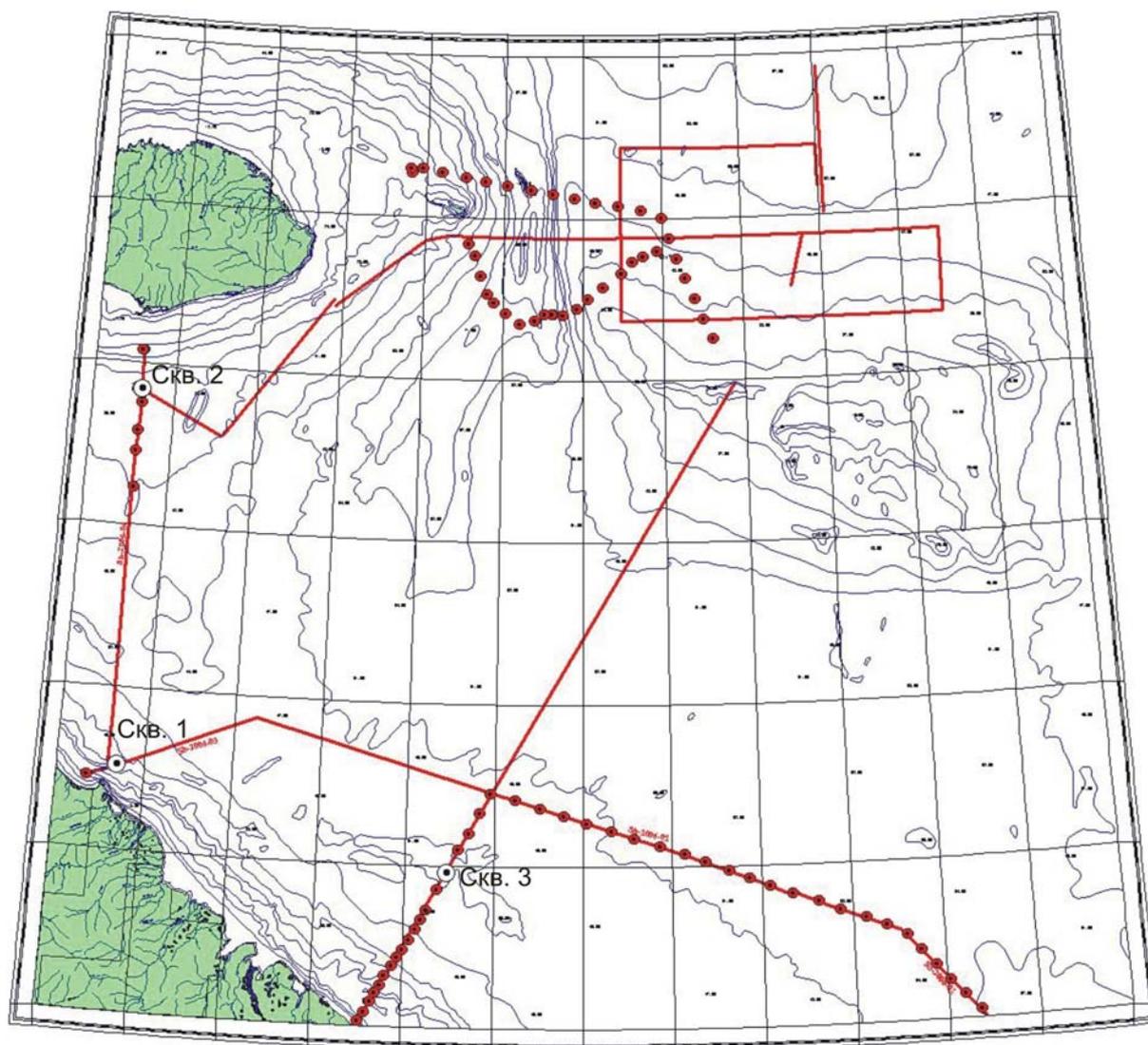


Рис. 6. Положение профилей сейсмоакустического профилирования, станций донного пробоотбора и скважин по результатам проведения полевых работ в 2006 году.

в самой нижней части. На большинстве профилей НСП НЧ удалось выделить расчлененную кровлю мезозойских (?) образований. Кровля располагается на поддонных глубинах от 70 до 300 мс. Мезозойские образования сложены параллельно-слоистой толщей осадков смятых в пологие складки, нарушенные множеством разломов. Амплитуды разрывных нарушений достигают 100 мс. В целом волновая картина мезозойских образований схожа с волновой картиной нижнемеловых отложений Баренцево-Карского региона.

Сверху мезозойские образования перекрыты сложнопостроенной толщей третичных и четвертичных осадков. Последняя разделяется на три подтолщи, границами которых служат две эрозионные поверхности, наблюдаемые на поддонных глубинах 20—50 мс и 30—70 мс. Первая (верхняя) может быть предположительно отнесена к этапу

последней регрессии Мирового океана в позднем плейстоцене, вторая (нижняя) отражает более древний и более активный эрозионный этап.

Обращает на себя внимание факт несоответствия направления тока палеодолин, устанавливаемых на уровне второй эрозионной границы с современным морфоструктурным планом региона. Так, на субмеридиональных профилях, пройденных по 170° западной долготы, установлены близкие к поперечным сечения древней долинной сети. На субмеридиональных же профилях, наоборот, наблюдаются широкие, косые срезы палеодолин. К сожалению, из-за тяжелых погодных условий нам не удалось пройти несколько близко расположенных профилей для более точного определения направления древней долинной сети, однако даже по имеющимся данным мы можем с уверенностью сказать, что на эрозионном этапе,

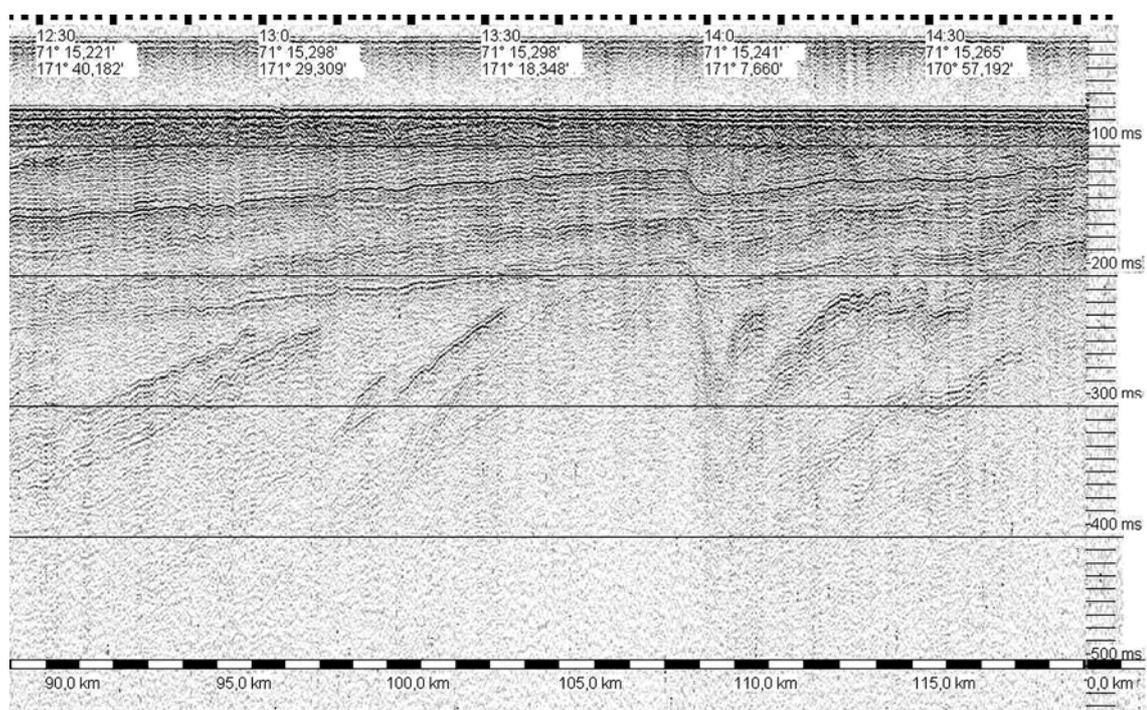


Рис. 7. Фрагмент профиля НСП НЧ полученный при помощи аппаратуры «СОНИК-4» в Чукотском море, иллюстрирующий моноклиналиное залегание третичных (?) отложений на раздробленной поверхности мезозойского субстрата.

коррелятном второй эрозионной поверхности, палеодолиная сеть западной части листа имела преимущественно субширотное направление. Глубина палеоврезов достигает 50—100 мс.

Высокочастотное сейсмоакустическое профилирование (НСП ВЧ) проводилось после НСП НЧ на наиболее перспективных площадях для более детального расчленения четвертичного разреза и выбора мест предполагаемого бурения. Наиболее детальный разрез был нами получен к югу от острова Врангеля, где впоследствии и была заложена скважина №2. При помощи НСП НЧ здесь было установлено погружение второй эрозионной границы до глубин более 70 мс.

Во впадине, образованной эрозионной границей В (рис. 8), установлено 5 сейсмоакустических комплексов (ССК), последовательно ее заполняющих. ССК 5, 4 и 3 (снизу вверх) последовательно заполняют впадину, полностью ее нивелируя. Кровли этих трех комплексов имеют неровный характер, что говорит о периодах эрозии, завершающих образование каждого ССК. Эрозионная поверхность А последовательно срезает все три описанных ССК и южнее сливается с эрозионной границей В. Сверху А перекрыто косослоистой пачкой ССК-2. Выше залегает комплекс современных осадков ССК-1. Глубина вскрытого разреза в районе заложения скважины №2 достигала 30 мс при вертикальном разрешении до 10—20 см.

Сопоставление данных буровых работ, капометрии и сейсмоакустического разреза показало хорошую коррелируемость всех этих данных.

Сейсмоакустический разрез НСП ВЧ в районе заложения скв №1 показал наличие чрезвычайно плотных осадков с «акустически звонкой» границей в кровле. Именно поэтому первая скважина не смогла пройти ниже кровли этого осадочного комплекса.

Анализ предыдущих сейсмоакустических работ в регионе (Гранц, 1978) дает основание предположить наличие новейших тектонических движений с субширотным направлением осей сжатия в восточной части дуги Геральда. Субмеридиональные профили, пройденные в этом районе, показывают дислоцированность новейших образований, в то время как субширотные профили демонстрируют спокойное — горизонтальное — залегание последних. Таким образом, нами установлены элементы залегания новейших образований. Азимут простираения складок близок оси З-В при углах падения крыльев в первые градусы.

Донный пробоотбор дночерпателем и грунтово-вой трубкой. В процессе геолого-съемочных работ было отработано 100 станций донного пробоотбора, в т. ч. 100 станций дночерпателем «Океан-0,25», 30 станций — 3-метровой прямоочной трубкой и дночерпателем.

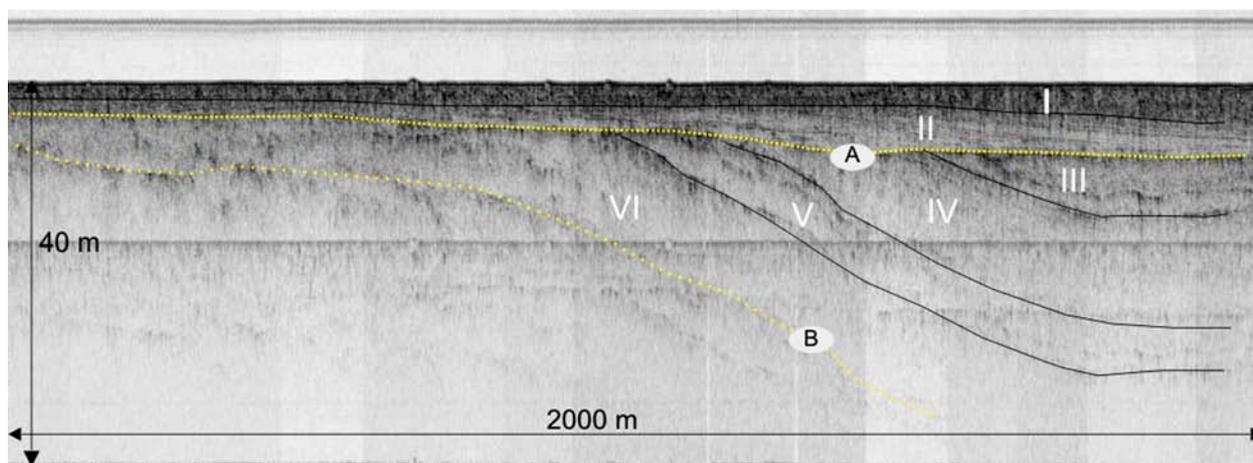


Рис. 8. Фрагмент сейсмоакустического профиля, полученного аппаратурой «СОНИК-М141» в Чукотском море в сентябре 2006. Буквами на рисунке обозначены две эрозионные поверхности, цифрами — сейсмоакустические комплексы отложений.

Разрез верхней части донных осадков вскрыт данными средствами пробоотбора на глубину до 3 м в глубокой части моря (глубины более 35 м) и на 50 см на мелководье (глубины до 35 м).

Разрез представлен исключительно терригенными рыхлыми отложениями, варьирующими по крупности обломочного материала обычно в зависимости от глубины дна, его рельефа и расстояния от берега.

В глубокой части Чукотского моря (глубины более 35 м) донные осадки представлены следующим обобщенным разрезом:

Поверхность дна обычно ровная, покрытая серо-желтым наилоком с темными пятнами; на поверхности иногда встречаются различные представители биоты — полихеты, крабы, двустворчатые моллюски как живые, так и их остатки, а также следы их жизнедеятельности.

0—3 см. Наилкок серо-желтый, алевропесчаный, сильно обводненный, текучий. Часто содержит единичные живые организмы, единичный раковинный детрит.

Контакт обычно нечеткий до постепенного по увеличению плотности и изменению цвета.

3—8 см. Алевропелит желтовато-, зеленовато-серый, иногда песчанистый, мягкий, вязкий до текучего. Обычно однородный, может содержать единичные включения более плотных комков, детрит, редко — дресву, гальку. Обычно наблюдается уплотнение осадка к нижней части до пластичного состояния.

Контакт обычно нечеткий до постепенного по увеличению плотности и появлению темных примазок органического вещества.

8—300 см. Алевропелит серый до темно-серого, мягкий, вязкий, пластичный. Обычно содержит многочисленные гнезда песчанистого мате-

риала с черным органическим веществом, от которых по всей толще осадка идут темные примазки, придавая всему осадку пятнистый облик.

Результаты полевых биологических исследований. На 100 точках донного пробоотбора были проведены биологические исследования. В работу входила визуальная оценка биоразнообразия и количества бентоса по площади полигона. На отдельных станциях бентос фотографировался.

На 41 станции были отобраны бентосные пробы в соответствии со стандартной методикой. Критериями выбора мест отбора бентосных проб являлись геоморфологические условия и равномерное покрытие площади полигона.

Предварительные результаты исследования заносились в полевой дневник. По предварительным оценкам количество бентоса обычно заметно больше по массе и видовому разнообразию в зонах мелководий, где распространены крупно- и среднеобломочные отложения. В более глубоководной зоне (глубже 40—45 м) в условиях ровного дна и распространения алевропелитовых осадков бентос беднее по количеству и разнообразию.

На основе результатов полевых исследований условно было выделено несколько типов зон распространения бентоса.

Зоны повышенного содержания бентоса:

Тип 1. Зона в юго-восточной части полигона на глубинах 50—55 м, в условиях ровного дна. Характеризуется высоким содержанием двустворок, коррелируется с наличием сероводорода, возможно связана с сильными течениями через Берингов пролив.

Тип 2. Зоны вблизи берегов на глубинах 35—40 м, расположенные на прибрежных склонах. Характеризуются высоким содержанием и разнообразием бентосных организмов. Коррелируется



Рис. 9. Бентос. Станция 06035, неподалеку от острова Геральд. Глубина моря — 50 м.

с распространением грубообломочного донного материала. Обилие организмов возможно связано с сильными прибрежными течениями и континентальным сносом.

Зона среднего содержания бентоса на глубинах 45—55 м.

Зоны пониженного содержания бентоса:

Тип 1. Зона, включающая северо-западную часть возвышенности Геральда и желоб Геральда, на глубинах 35—80 м, характеризуется алевропелитовыми донными отложениями (рис. 9).

Тип 2. Зона, прилегающая к берегу на глубинах до 35 м, характеризующаяся песчано-гравийно-галечными отложениями. Пониженная жизнедеятельность бентосных организмов, возможно, связана с интенсивным накоплением грубообломочного материала.

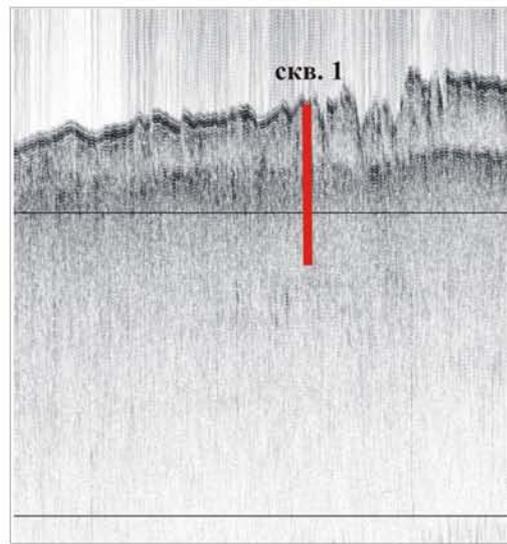
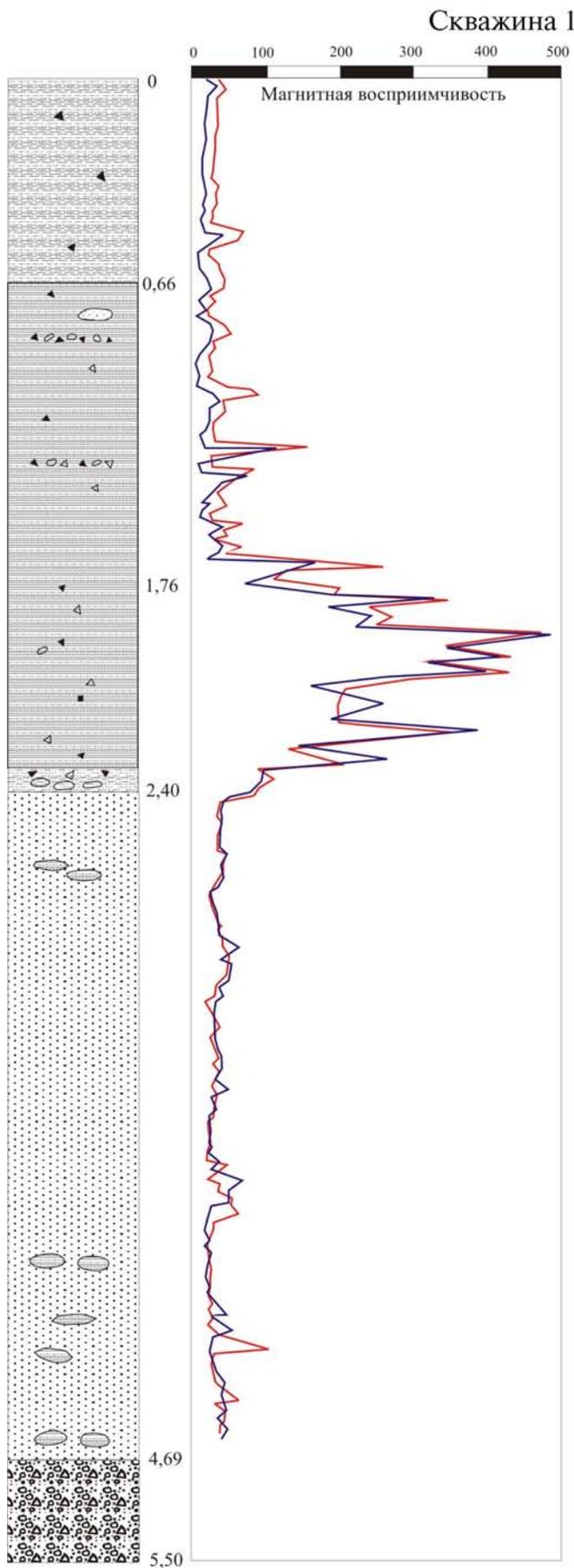
Результаты изучения распространения бентосных организмов в дальнейшем предполагается использовать для составления геоэкологической карты Чукотского моря.

Многорейсовое бурение. На площади листов R-1 и R-2 было отработано три буровых скважины. Первая — в юго-западной части листа R-1, неподалеку от мыса Шмидта, вторая — в запад-

ной части листа R-1, к югу от острова Врангеля, и третья — почти в центре листа.

Первая скважина (рис. 10) была пробурена в ночь с 27 на 28 августа. В верхней части разрез представлен переуплотненными глинами, ниже появились пески, в забое — гравийно-галечный горизонт, тяжелый для бурения. Скорость проходки по гравийно-галечным отложениям — 30 см в час. Из-за смещения судна в результате дрейфа пришлось прекратить бурение. Граница между глинистой и грубозернистой толщами ярко выражена на сейсмоакустическом профиле и в каротажной кривой (магнитная восприимчивость).

Вторая скважина (рис. 11) была пробурена в ночь с 30 на 31 августа. В результате получен 12-метровый разрез. Верхняя часть колонки представлена алевропелитами и песчанистыми алевроглинами. Нижняя часть разреза представлена более грубозернистыми разностями осадков — разнозернистые пески, с галькой и гравием, с растительными остатками. Граница между толщами ярко выражена угловым несогласием по данным профилографа и скачком в магнитной восприимчивости на каротажной кривой.



- | | | | |
|--|---|--|----|
| | 1 | | 8 |
| | 2 | | 9 |
| | 3 | | 10 |
| | 4 | | 11 |
| | 5 | | 12 |
| | 6 | | 13 |
| | 7 | | 14 |

Рис. 10. Разрез скважины №1, расположенной у мыса Шмидта.

1 — торф; 2 — глины; 3 — суглинки; 4 — супеси; 5 — пески м/з; 6 — раковины моллюсков; 7 — растительные остатки; 8 — валунно-гравийные отложения; 9 — гравийно-валунные отложения; 10 — пески к/з; 11 — пески с/з; 12 — пески г/з; 13 — гравийники; 14 — галька.

Скважина 2

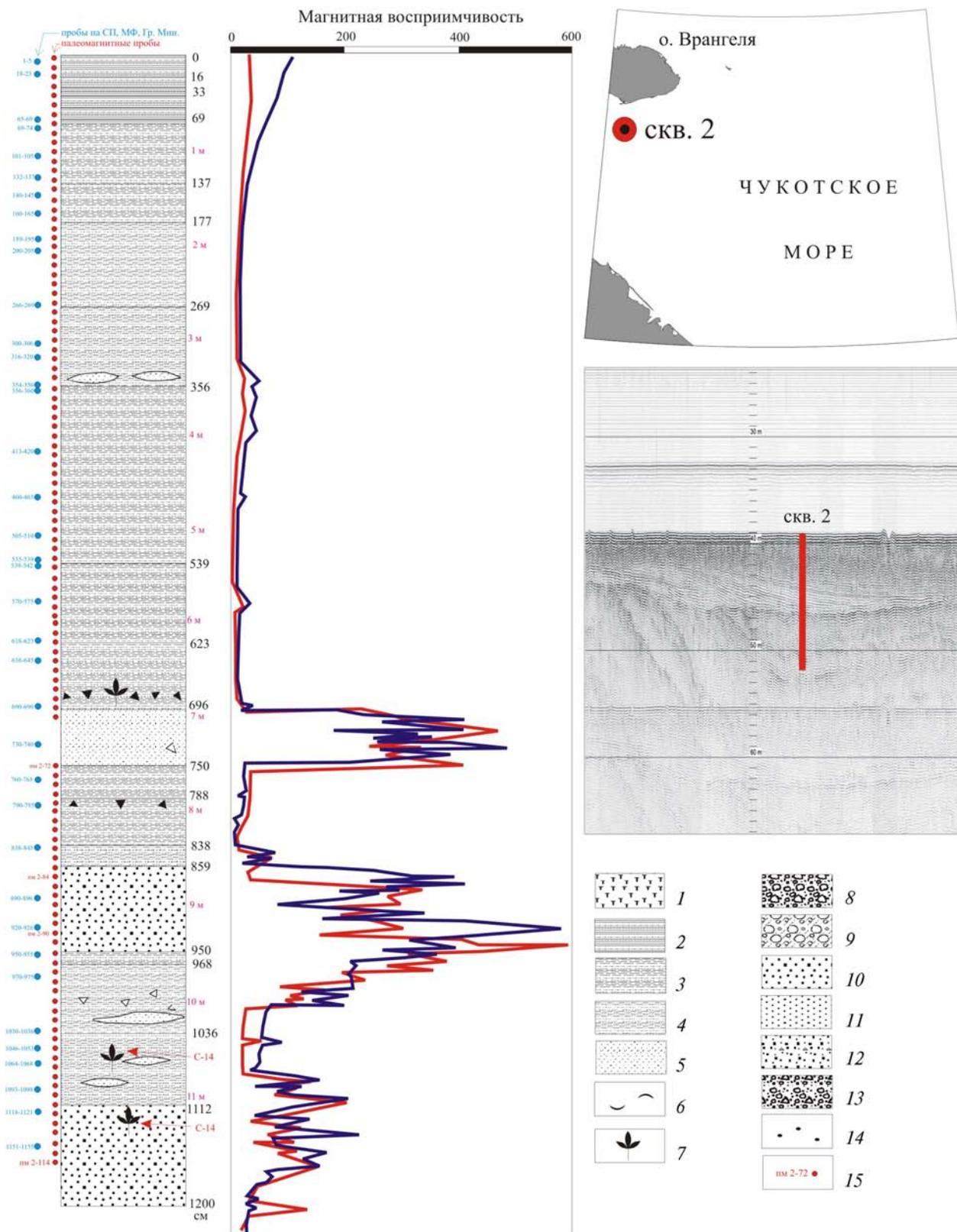


Рис. 11. Разрез скважины №2, расположенной к югу от о. Врангеля.

Условные обозначения см. рис. 10.

15 — палеомагнитные пробы.



Рис. 12. Исследование магнитных свойств кернов буровой скважины с помощью капометра.

Третья скважина получилась неглубокой, из-за погодных условий не удалось удерживать судно на якорях и пришлось ограничиться одним рейсом бурового снаряда на дно. Получен 3,5-метровый разрез голоценовых илов.

В целом, несмотря на то, что буровые работы с подобной установкой проведены впервые на российском арктическом шельфе, без методических работ удалось получить представительные разрезы в осадках и породах с высокими категориями буримости. Отработана технология бурения с неспециализированного судна, выявлены особенности бурения осадков в арктических условиях.

Получены хорошие результаты по стратиграфии четвертичных отложений Чукотского моря. Заверены поверхности несогласий, картируемые по сейсмоакустическим данным. Отобраны пробы для палеомагнитных исследований, на гранулометрию, минералогию, органическое вещество, микрофауну и споро-пыльцу, диатомовый анализ. Пробы на органическое вещество взяты из скважин, а также из донных проб по двум профилям, проходящим под прямым углом с пересечением в месте скважины.

На борту судна исследовалась магнитная восприимчивость осадков (рис. 12), получены каротажные кривые, которые четко отбили периоды перерывов в осадконакоплении. На каротажных кривых это выражается в виде пиков, т. е. в повышении магнитной восприимчивости осадков. По всей видимости, здесь возрастает содержание тяжелых магнитных минералов.

Исследование микрофауны. Всего из кернов грунтовых трубок и буровых скважин было отобрано для определения 46 образцов. Только в 10 образцах обломки микрофауны не удалось идентифицировать, в остальных случаях остатки фауны имели сохранность, достаточную для определения видовой или родовой принадлежности того или иного индивида. Для более полной экологической характеристики все образцы грунтового пробоотбора промывались через сито с размером ячеек 63 мк, для дальнейшего использования полученного осадка для микрофаунистического анализа. Результаты микрофаунистического анализа и общая характеристика палеоэкосистем будут даны позднее, после окончательной обработки образцов.

Для комплексов моллюсков, полученных из образцов грунтового пробоотбора, характерна обедненность видового состава и низкая видовая изменчивость как вниз по разрезу, так и по латерали. В комплексах преобладают остатки раковин *Macoma calcarea* (Gmelin), в подчиненном отношении присутствуют *Astarte (Tridonta) borealis* (Schumacher), остальные виды двустворчатых моллюсков присутствуют в единичных экземплярах (табл. 1). Остатки раковин *Gastropoda* встречены всего в 3 образцах.

В целом комплексы микрофауны являются бореально-арктическими и аналогичны современным, которые характерны для морских бассейнов восточного сектора Арктики и севера Пацифики — для зон верхней сублиторали с соленостью, близкой к нормальной.

Благодарности. Мы благодарны разработчикам системы многорейсового бурения — специалистам кафедры техники и технологии геолого-разведочных работ Донецкого национального технического университета за сотрудничество, подготовку и участие в рейсе. Спасибо экипажам буксиров «Шуя» и «Напористый» за обеспечение работ. Сердечная благодарность всем участникам экспедиции, которые, несмотря на неудовлетворительные бытовые условия и аварийную ситуацию, действовали слаженно, с присутствием духа, и обеспечили выполнение работ в полном объеме.

Фотоальбом экспедиции представлен на интернет-сайте: <http://www.evgenyusev.narod.ru/chukchi/chukchi.html>

Таблица 1

Состав фауны моллюсков из кернов грунтовых трубок и буровых скважин

№ станции, интервал (см)	Моллюски	Количество
скв. 1; 1,5	<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin)	4с
	<i>Yoldiella intermedia</i> (M. Sars)	1р
	<i>Cyclocardia ventricosa</i> (Gould)	1с
	обломок <i>Gastropoda</i>	1
скв. 1; 50-60	<i>Margarites costalis</i> (Gould)	1р
скв. 2; 122	<i>Astarte</i> (<i>Tridonta</i>) sp.	обл.
скв. 2; 155-157	<i>Astarte</i> (<i>Nicania</i>) <i>montagui</i> (Dilwyn)	1с
	<i>Ciliatocardium</i> sp.	обл.
скв. 2; 167	Cardidae	обл.
скв. 2; 193	<i>Mya</i> sp.	1с (мелкая)
скв. 2; 194	<i>Ciliatocardium ciliatum</i> (Fabricius)	1с, обл.
06007-2; 80-90	<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin)	1с
06072-2; 50-60	<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin)	2с, обл.
06072-2; 208-210	<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin)	1с
06074-2; 30-40	<i>Leionucula</i> cf. <i>tenuis</i> (Reeve)	обл.
06074-2; 150-155	<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin)	2с, обл.
	<i>Macoma</i> sp.	обл.
06084-2; 120-122	<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin)	1с
06084-2; 176-178	<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin)	обл.
06087-2; 67-68	<i>Astarte</i> (<i>Tridonta</i>) <i>borealis</i> (Schumacher)	2с
06087-2; 131-133	<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin)	1р, 3с
06087-2; 180-185	<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin)	11 с
	<i>Macoma</i> sp.	
	<i>Yoldia</i> sp.	обл.
	<i>Leionucula belottii</i> (Adams)	3р., 6с, обл.
06088-2; 22-23	<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin)	1с
	<i>Astarte</i> (<i>Tridonta</i>) <i>borealis</i> (Schumacher)	2с
06089-2; 23	<i>Serripes groenlandicus</i> (Bruguere)	1с
06089-2; 43	<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin)	2с
	<i>Macoma</i> sp.	обл.
	<i>Astarte</i> (<i>Tridonta</i>) <i>borealis</i> (Schumacher)	1
06089-2; 57	<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin)	1с, обл.
06089-2; 69	<i>Macoma</i> sp.	обл.
06090-2; 13-14	<i>Cerastoderma</i> sp.	1р, обл.
06091-2; 80-85	<i>Serripes groenlandicus</i> (Bruguere)	обл.
06091-2; 120-125	<i>Astarte</i> (<i>Tridonta</i>) <i>borealis</i> (Schumacher)	1с, обл.
	<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin)	1с
06091-2; 132-140	<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin)	10с, обл.
	<i>Leionucula belottii</i> (Adams)	обл.
06092-2; 7-17	<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin)	3с
	<i>Macoma</i> sp.	обл.
	<i>Leionucula belottii</i> (Adams)	2р
	<i>Nuculana pernula</i>	обл.
	<i>Criptonatica</i> sp.	1р
06093-2; 5-10	<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin)	4с
06093-2; 20-21	<i>Macoma</i> sp.	обл.
06093-2; 36-38	<i>Macoma</i> sp.	обл.
06093-2; 95-100	<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin)	6с, обл.
	<i>Astarte</i> (<i>Tridonta</i>) sp.	обл.
06093-2; 118-122	<i>Serripes groenlandicus</i> (Bruguere)	1с
	<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin)	1с
06094-2; 16-17	<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin)	обл.

Примечание: с — створка, обл. — обломок, р — раковина.

Экспедиционные работы в Охотском море по изучению скоплений газовых гидратов (проект CHAOS-III)

В рамках международного проекта CHAOS-III, являющегося продолжением работ по проектам CHAOS и CHAOS-II (Shoji et al., 2005; Matveeva et al., 2005; Jin et al., 2005; Mazurenko et al., 2005), в мае—июне 2006 г. были продолжены экспедиционные исследования в северо-восточном (СВ) побережье острова Сахалин (Охотское море) — 39 рейс НИС «Академик М. А. Лаврентьев» ДВО РАН (Владивосток). Инициаторами продолжения работ в 2006 г. являлись ВНИИ-Океангеология (Санкт-Петербург), ТОИ ДВО РАН (Владивосток), КОПРИ (Ансан, Корея) и КИТ (Китами, Япония).

Как и в 2003—2005 гг., полевые работы в акватории Охотского моря в 2006 г. были направлены на изучение скоплений газовых гидратов в очагах разгрузки флюидов на глубинах воды 400—1100 м (СВ побережье острова Сахалин) (рис. 1). Комплекс работ включал в себя высокочастотное эхолотирование (20 кГц), сейсмоакустическое профилирование (комплекс ВНИИОкеангеология «СОНИК-4», спаркер 2200 Дж, диапазон рабочих частот 150—1500 Гц), грунтовый пробоботбор (гидравлическая и ударная трубки длиной 6,5 и 7 м) и набортные геохимические исследования. Было выполнено геолого-геофизическое картирование малоизученных районов (рис. 2) в районе с фокусированной разгрузкой флюидов в побережье СВ части острова Сахалин.

Одной из задач экспедиции являлась выявление северной границы распространения полей разгрузки газа и связанных с ними скоплений газовых гидратов в районе исследования. Предполагалось, что именно осадочный каньон и выявленные вдоль его бортов тектонические нарушения являются этой границей. На профиле гидролокатора бокового обзора не было выявлено ни одного акустически яркого пятна к северу от каньона, а в ходе профилирования эхолотом также

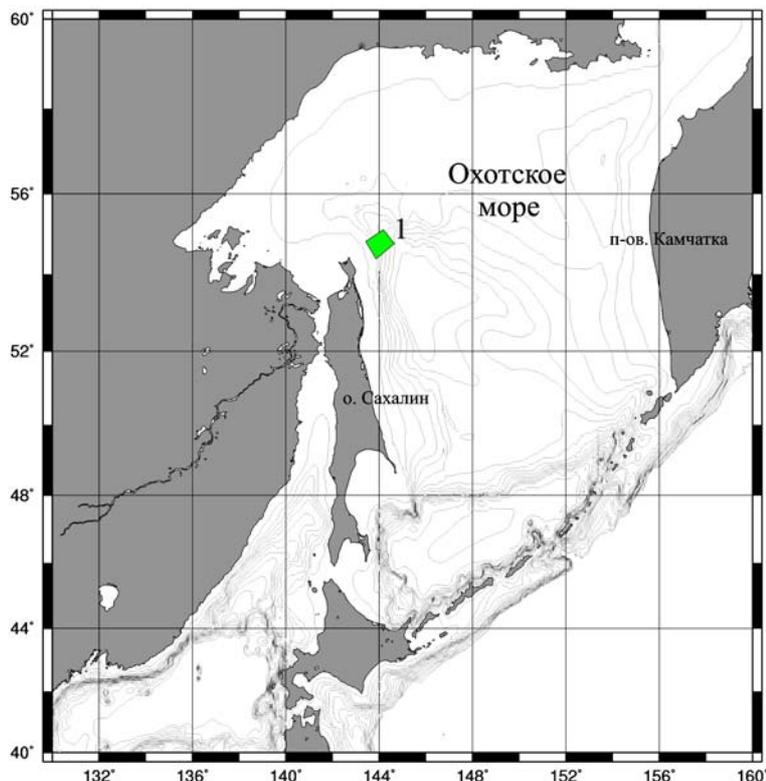


Рис. 1. Район работ в СВ побережье о. Сахалин (Охотское море).

не было обнаружено газовых «факелов». Таким образом, высказанное предположение было подтверждено.

В ходе съемки гидролокатором бокового обзора, в области распространения осадочного каньона в северной части района исследования, было выявлено несколько новых структур, связанных с разгрузкой газа на дне. К востоку от русловой части каньона, в его проксимальной части, были обнаружены газовые факелы, один из которых по координатам совпадал с акустически яркой аномалией, до 500 м в диаметре, на записи гидролокатора бокового обзора. Округлая форма этого пятна, наличие факела на записи эхолота и трех факелов в пределах пятна на записи гидролокатора бокового обзора (рис. 3) позволили предполагать, что эта структура, по аналогии с выявленным ранее полем структур в южной части района исследования, является газогидратоносной.

Обнаруженная структура получила название «Соловьев», в честь Валерия Алексеевича Соло-

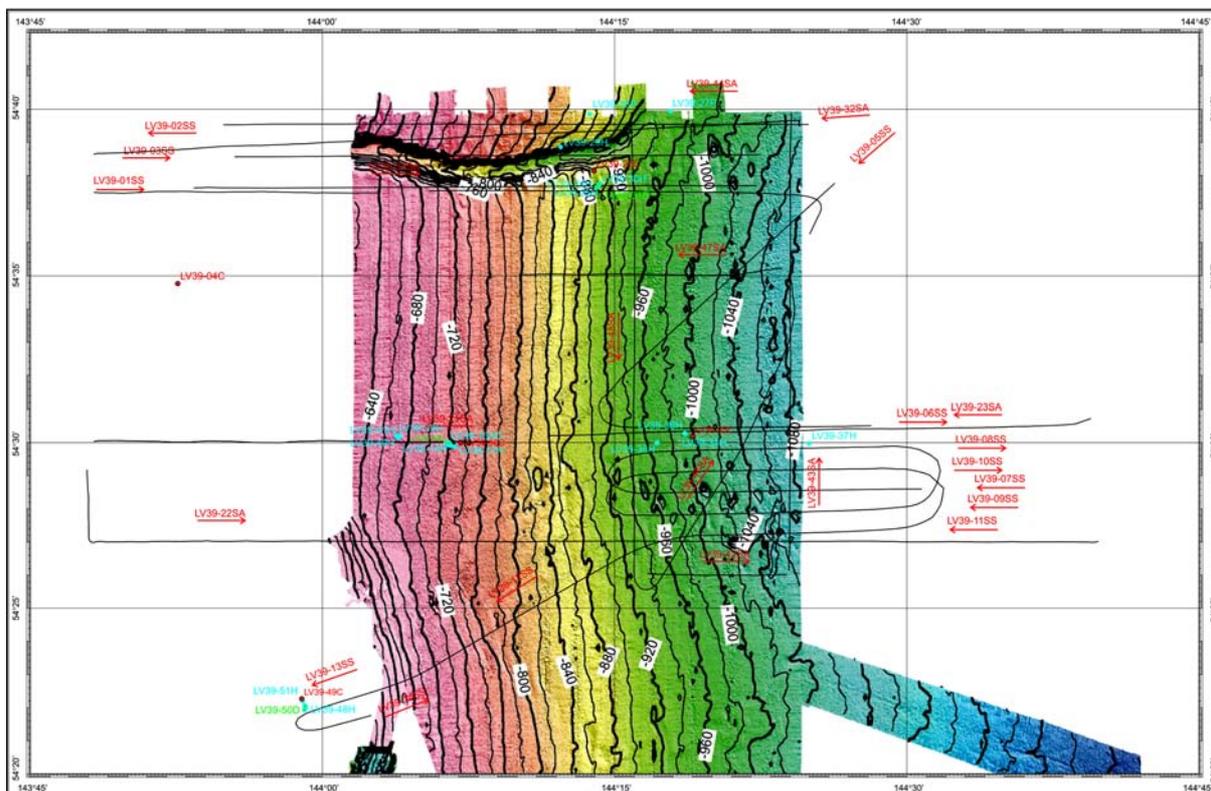


Рис. 2. Схема работ, выполненных в Охотском море в 39 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев». Стрелками показаны профили гидролокатора бокового обзора — литеры SS (например, LV39-12SS), сейсмоакустики — литеры SA (например, LV39-42SA). Станции грунтового проботбора указаны литерами H, P и D (например, LV39-25H).

вьева, заведующего лабораторией геологии газовых гидратов ВНИИОкеангеология, безвременно ушедшего от нас 14 сентября 2005 г. В пределах очага разгрузки газа Соловьев, на глубине 880 м, было выполнено две станции грунтового проботбора (LV39-25H и LV39-30H). Обе грунтовые станции были намечены по координатам, соответствующим аномалии типа «факел» на эхолотной записи (рис. 4), выявленной в ходе пересечения галсами участка морского дна в районе, где на записи гидролокатора бокового обзора также наблюдался факел. Отложения, вскрытые одной из них, LV39-25H, содержали газовые гидраты, в то время как в керне грунтовой станции LV39-30H, находящейся на расстоянии 25 м от нее, не наблюдалось даже признаков присутствия газа.

В газогидратосодержащем керне станции LV39-25H, общей длиной 270 см, гидратоносным являлся интервал 160—245 см. Вмещающие гидраты отложения представлены главным образом зеленовато-серыми диатомовыми илами с примесью алевролита, несколькими горизонтами карбонатных конкреций (рис. 5) и раковинами двустворок (рис. 6). Кроме этого, газогидратоносный интервал, а также вышележащий интервал начинающая с глубины 105 см и нижележащий интервал

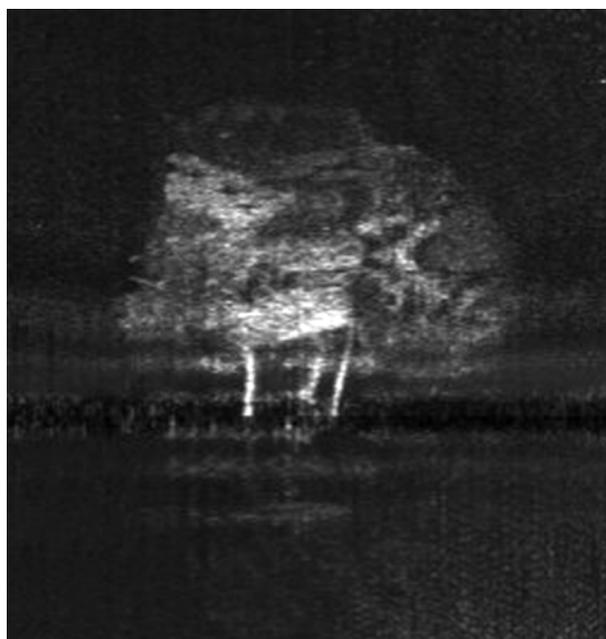


Рис. 3. Фрагмент записи гидролокатора бокового обзора через газогидратоносную структуру «Соловьев», приуроченную к области концентрированной разгрузки газа на дне, глубина воды 880 м (диаметр структуры около 500 м).

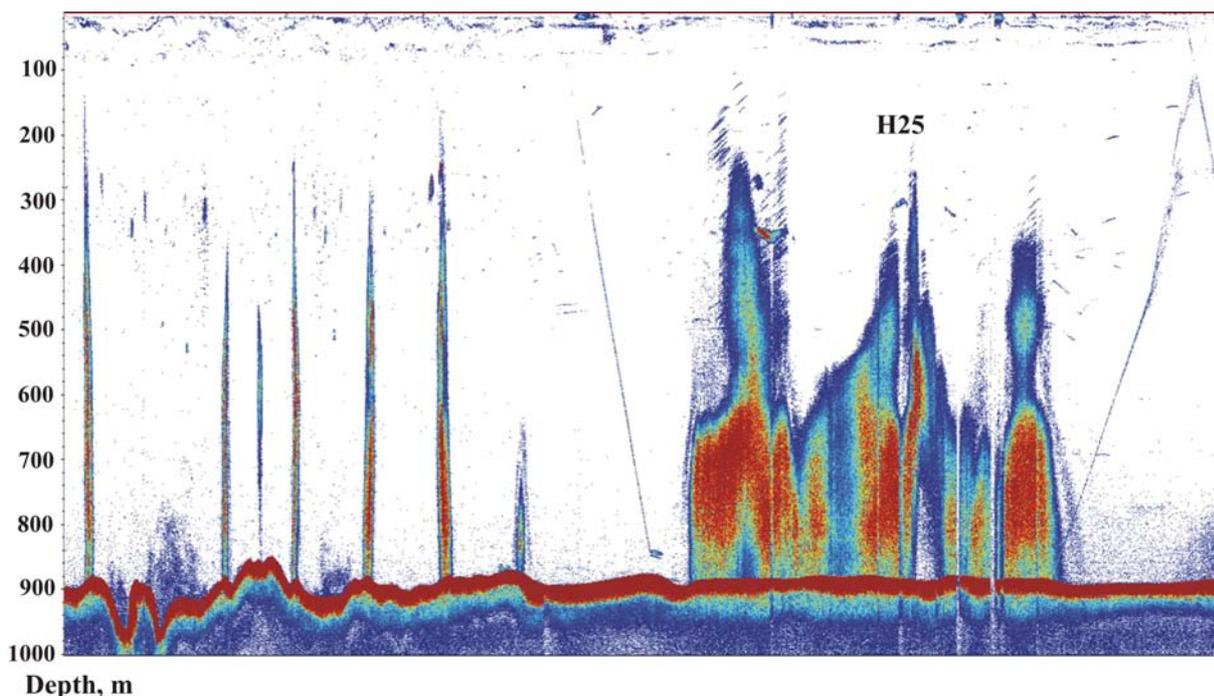


Рис. 4. Фрагмент записи эхолота с аномалиями типа «факел», обусловленными выходами газа в водную толщу. В правой части можно наблюдать путь движения грунтовой трубки в ходе спуско-подъемных операций прободоотбора. Очаг разгрузки газа «Соловьев» (глубина воды 880 м).



Рис. 5. Аутигенное карбонатообразование рогуľчатой формы, керн LV39-25H, интервал 250—260 см (очаг разгрузки газа «Соловьев»).



Рис. 6. Раковина двустворки *Calypptogena*, керн LV39-25H, интервал 268—272 см (очаг разгрузки газа «Соловьев»).

245—270 см характеризовался творожистой текстурой отложений, обусловленной дегазацией, потрескиванием лопающихся пузырьков газа и стойким запахом сероводорода. Выявлено несколько типов гидратообусловленных текстур отложений: в интервале 160—180 см это порфирированная текстура, характеризующаяся присутствием небольших (до 1 см в диаметре) изометричных включений газовых гидратов во вмещающих осадках; в интервале 180—210 см — вертикально-слоистая текстура (рис. 7), а в интервале 195—245 см отмечены отдельные линзочки газовых гидратов (до 1,5 см толщиной), образующие

линзовидную текстуру газогидратоносных отложений. Содержание газовых гидратов в гидратоносном интервале визуальнo оценено в 5—10% от объема осадков.

К востоку от полигона, изученного в ходе экспедиции 2003 г., в ходе съемки гидролокатором бокового обзора в комбинации с придонным профилографом, был выявлен ряд новых структур, связанных с разгрузкой газа. Геологический прободоотбор на газовые гидраты производился также в пределах новых выявленных структур, связанных с разгрузкой газа, названных «Елизавета» (рис. 8) (станции LV39-34H и LV39-36H) и

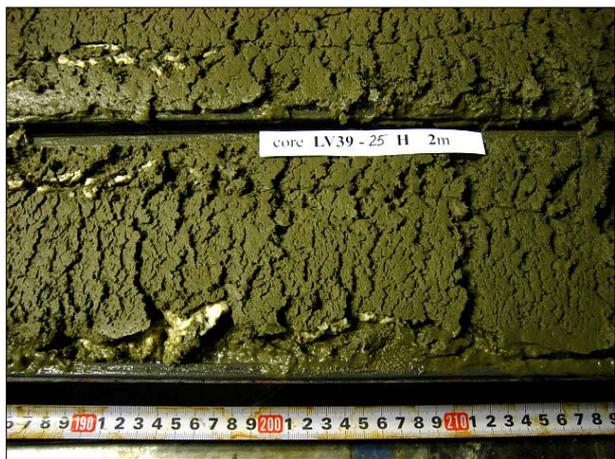


Рис. 7. Вертикальные слои газовых гидратов в керне LV39-25H (очаг разгрузки газа «Соловьев»).

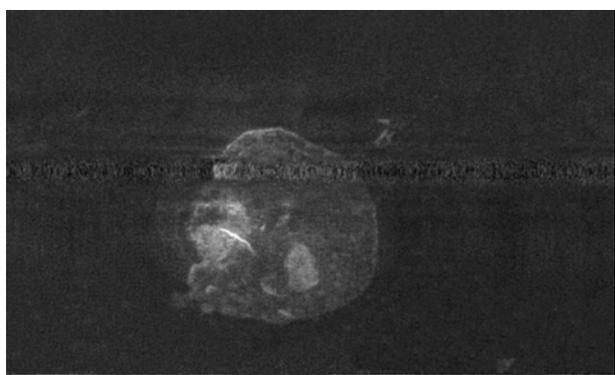
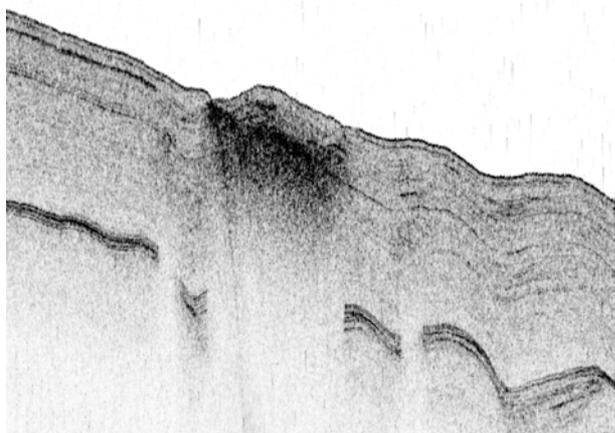


Рис. 8. Фрагмент записи гидролокатора бокового обзора в комбинации с приводным профилографом через структуру Елизавета (диаметр структуры около 800 м).



«Наташа» (станция LV39-37H), в пределах ранее известных структур КОПРИ (станции LV39-15H, LV39-17H и LV39-18H), Хаос (LV39-39H) и Гизелла (станция LV39-48H). Ни в одном из кернов газовых гидратов обнаружено не было, признаки газа были выявлены также лишь в одном

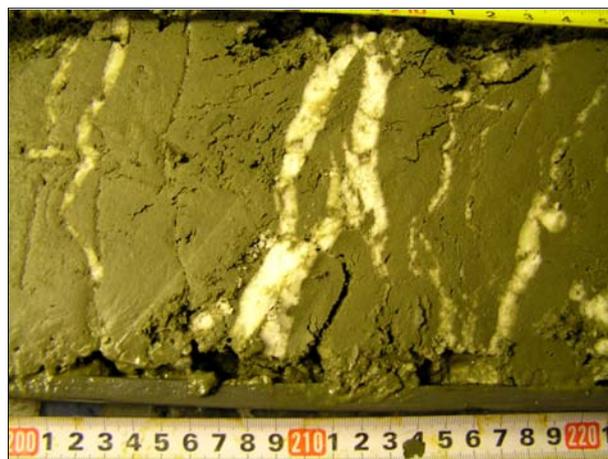


Рис. 9. Линзовидно-слоистая текстура газогидратоносных отложений, керн LV39-40H (очаг разгрузки газа ПОИ).

из них — LV39-15H. Отсутствие признаков разгрузки газа, а также наличие слабых «факелов» (или их полное отсутствие), по всей видимости, свидетельствует о слабой активности очагов разгрузки, что влияет на точность попадания грунтового пробоотборника, направляемого по эхолоту, в область распространения газовых гидратов в пределах скопления.

Тем не менее, газовые гидраты были вскрыты грунтовой станцией LV39-40H в пределах выявленного в 2005 г. (Mazurenko et al., 2006) очага разгрузки флюидов ПОИ. Всего на структуре ПОИ было выполнены две станции грунтового пробобора — LV39-39H и LV39-40H, находящихся на расстоянии около 200 м друг от друга. Грунтовая станция LV39-39H вскрыла 390 см осадочного разреза диатомового ила, с признаками газонасыщенности и творожистой текстурой отложений в верхнем интервале керна 0—123 см. Такое расположение газосодержащего интервала является нестандартным, поскольку во всех изученных ранее кернах с признаками газа этот интервал располагался в нижней части керна, начиная с глубин 30—150 см. Возможно, это объясняется результатом диффузии газа из смежных придонных горизонтов, находящихся в непосредственной близости от относительно недавно появившегося выхода газа. На это указывает также низкая степень преобразованности отложений в керне. Грунтовая станция LV39-40H вскрыла типичный разрез газогидратосодержащих отложений общей длиной 260 см. В верхней части керна, в интервале 25—30 см выявлены крупные раковины и обломки двустворок. В интервале 90—95 см встречены карбонатные конкреции до 3 см в диаметре, а начиная с глубины 115 см начинается газонасыщенный интервал с характерной творожистой текстурой отложений, обусловленной дегазацией,

потрескиванием лопающихся газовых пузырьков и запахом сероводорода. Гидратоносным оказался интервал керна 170—260 см, подошва гидрато-содержащего интервала пройдена не была. В газо-гидратоносном интервале встречены линзовидно-слоистые гидратообусловленные текстуры отложений (мощность гидратных прослоев составила до 1,5 см (рис. 9). По визуальным оценкам содержание газовых гидратов в керне оценено в 15—20 % от объема осадков.

Таким образом, результаты акустического профилирования и грунтового пробоотбора свидетельствуют о снижении активности очагов разгрузки газа по сравнению с предыдущими экспе-

дициями 2003—2005 г. По всей видимости, это является результатом относительно спокойной тектонической обстановки в СВ побережье о. Сахалин в период проведения экспедиции 2006 г.

В ходе 39 рейса НИС «Академик М. А. Лаврентьев» в побережье острова Сахалин были выявлены новые скопления газовых гидратов, связанных с фокусированной разгрузкой флюидов. Была расширена область распространения скоплений газовых гидратов к северу и востоку от полигона, изученного в экспедициях 2003—2005 гг. (Matveeva et al., 2005; Mazurenko et al., 2006), а также выявлена ее предполагаемая северная граница.

Список литературы

Jin, Y.K., Krylov, A., Soloviev, V., Mazurenko, L., Salomatin, A., Obzhurov, A., Shoji, H. and CHAOS 2005 Scientific Team CHAOS 2005. Expedition on the Hydrate-Bearing Structures within the Sea of Okhotsk. Abstracts of the 2nd International Workshop on Gas Hydrate Studies and Other Related Topics – for the Future Energy and Environment Considerations. Kitami, Japan, 2005, p. 5-6.

Matveeva, T., Soloviev, V., Shoji, H., Obzhurov, A. (Eds.). Hydro-Carbon Hydrate Accumulations in the Okhotsk Sea (CHAOS Project Leg I and Leg II). Report of R/V Akademik M.A.Lavrentyev Cruise 31 and 32, VNIIOkeangeologia, St.Petersburg, 2005, 164 pp.

Mazurenko, L., Soloviev, V., Matveeva, T., Shoji, H., Jin Y., Krylov A., Obzhurov, A. and CHAOS 2005 Scientific Team. Gas Hydrate Studies in the CHAOS Projects. Abstracts of

the 2nd International Workshop on Gas Hydrate Studies and Other Related Topics – for the Future Energy and Environment Considerations. Kitami, Japan, 2005, p. 1-2.

Mazurenko, L., Logvina, E., Shoji, H., Krylov, A., Kaulio, V., Nishio, S., Nunokawa, Yu., Kitamura, O. Gas hydrates. Hydro-Carbon Hydrate Accumulations in the Okhotsk Sea (CHAOS-II Project). Report of R/V Akademik M.A.Lavrentyev Cruise 36, Vladivostok – St.Petersburg, 2006, p. 38-45.

Shoji, H., Soloviev, V., Matveeva, T., Mazurenko, L., Minami, H., Hachikubo, A., Sakagami, H., Hyakutake, K., Kaulio, V., Gladyshev, V., Logvina, E., Obzhurov, A., Baranov, B., Khlystov, O., Biebow, N., Poort, J., Jin, Y.K., Kim, Y. Hydrate-Bearing Structures in the Sea of Okhotsk. Eos, Vol. 86, No. 2, 11 January 2005, p. 13-24.

Геоэкологические исследования в северной части Обской губы

В 2006 г. Комплексная партия ФГУП «ВНИИОкеангеология» продолжила начатые в 1995 г. геоэкологические исследования прибрежно-шельфовых зон Российской Арктики.

Организация полевых работ

Полевые работы выполнялись в период с 1 октября по 3 ноября 2006 г. на судне НИС «Иван Петров» водоизмещением 900 т, осадкой 3,5 м, оснащенного гидравлическими электроуправляемыми двумя носовыми и двумя кормовыми лебедками, самоходной баржей водоизмещением 6 т и осадкой 0,6 м (рис. 1).



Рис. 1. НИС «Иван Петров».

В рамках проекта работ по государственному контракту № 04/07/60-9 от 25 апреля 2005 г. по объекту «Создание геохимической и гидрогеологической основы для информационного обеспечения рационального освоения углеводородных ресурсов на перспективных участках прибрежно-шельфовой зоны Карского моря» в октябре—ноябре 2006 г. партия провела полевые работы в северной части Обской губы.

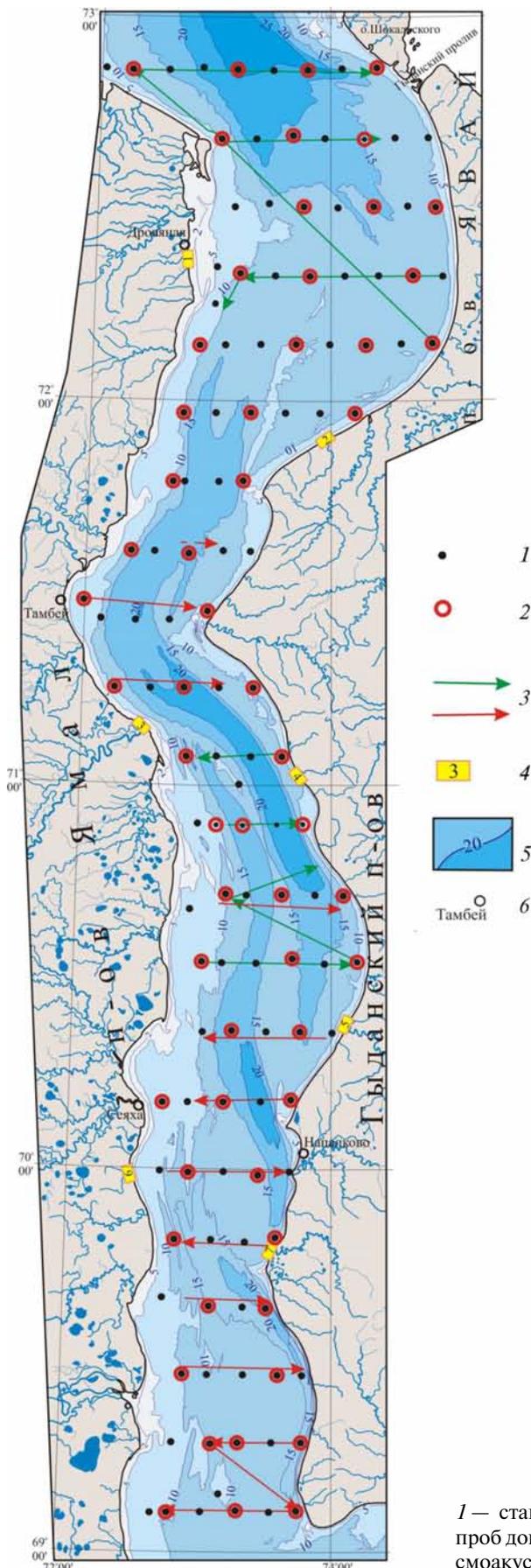
Целевым назначением работ является обеспечение рационального и безопасного использования геологической среды прибрежно-шельфовой зоны Карского моря в связи с предполагаемым ее интенсивным промышленным и хозяйственным освоением на основе изучения исходного (фоновое) состояния недр и прогноза развития опасных геологических процессов.

Участок работ ограничен параллелями 73°00' с.ш. на севере и 69°00' с.ш. на юге. Площадь исследуемого участка составляет 22 000 км² (рис. 2), при длине генерализованной береговой линии около 900 км.

Выполнялись следующие виды работ: опробование донных отложений на глубинах от 5 до 28 м, акустическое профилирование и береговые работы, включающие опробование берегов и устьевых участков рек.



Рис. 2. Участок работ партии.



Методика работ

В полевой период 2005 г. было выполнено опробование донных осадков по сети, близкой к 20×20 км. В 2006 г. полевые работы были завершены и масштаб исследований приближен к сети 10×20 км. Результирующая карта фактического материала приведена на рис. 3.

Опробование донных отложений проводилось дночерпателем «Van-Veen-01», изготовленным из нержавеющей стали (рис. 4). На песках объем поднятого материала обычно не превышал 3—8 л, на алевропелитовых осадках составлял 10—18 л. Глубина захвата грунта колебалась от 5—10 см на песках, до 20—25 см на алевропелитовых осадках. На последних сверху фиксировался жидкий наилкок мощностью до 3—4 мм. Пробы отбирались их верхнего слоя с измерением температуры осадка. Чаще всего для получения пробы объемом 5—10 л достаточно было одной-двух спускоподъемных операций. Но на «сложных» грунтах и при сильных придонных течениях количество спускоподъемных операций достигало 5—6. При этом повторное опускание снаряда проводилось после нового захода судна на намеченную станцию опробования, что требовало значительных затрат времени.

На борту судна пробы донных отложений делились для дальнейших лабораторных исследований на загрязняющие вещества (ЗВ — фенолы, ПАУ, ХОС, НУ, ТМ, радионуклиды), гранулометрический и минералогический анализы. Упаковка производилась в контейнеры из пластмассы высокого давления объемом 0,8—1 л. Образцы для определения НУ помещались в стеклянную тару объемом 0,3 л. Пробы, предназначенные для изучения радионуклидов, перед их упаковкой в пластиковые пакеты просушивались в судовой сушильной камере. Образцы для анализа на элементы и соединения элементов хранились на борту судна в холодильной камере, а транспортировались в лаборатории Санкт-Петербурга в морозильных контейнерах.

Геофизические исследования методом геоакустического профилирования. Работы выполнялись с целью изучения разреза донных отложений, геоморфологических особенностей донной

Рис. 3. Карта фактического материала.

1 — станции донного пробоотбора; 2 — опорные станции (отбор проб донных осадков, воды, зондирования водной толщи); 3 — сейсмоакустические профили (зеленый — 2005, красный — 2006); 4 — участки береговых работ и их номера; 5 — изобаты в метрах; 6 — населенные пункты.



Рис. 4. Опробование донных отложений дночерпателем Van-Veen.

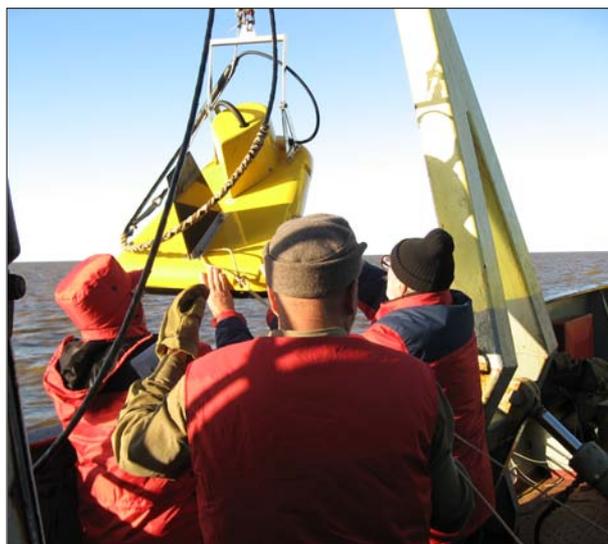


Рис. 5. Сейсмоакустическое профилирование аппаратом SB-216S фирмы Edge Tech.

поверхности и возможного определения кровли мерзлых пород. Работы проводились с аппаратурой Edge Tech Model X-STAR и приемопередателем (Tow Vehicles) SB-216S.

Способ регистрации — цифровая запись на жесткий диск системного блока, входящего в комплект аппаратуры, с последующей архивацией данных на съемные носители (выносной винчестер, DVD-R, DVD-RW). Контроль и управление осуществлялись через дисплей посредством программы Discover-Sub-bottom. В состав данных, помимо цифровой записи временных разрезов, выполненных в формате “JSF”, входят текстовые файлы, содержащие протокол изменений параметров регистрации, с указанием времени и координатах на момент изменений. Протокол формата записи данных “JSF” содержит (для каждой трассы): координаты, время, параметры излучения и регистрации (аппаратурный коэффициент усиления, частоту и мощность излучения и пр.). Навигационное обеспечение состояло из GPS приемника Trimble. Точность позиционирования в движении составляла ± 30 м.

На предварительном этапе были проведены опытно-методические работы по выбору способа крепления и транспортировки приемопередателя, оптимальных режимов излучения и параметров регистрации данных. В дальнейшем транспортировка приемопередателя осуществлялась путем крепления подвижной транспортировочной рамы на его корпусе через стальной трос к стреле бакового крана, что позволило максимально отвести его от борта судна для избежания влияния кавитации и достаточно оперативно вынимать его из воды (рис. 5). Заглубление приемопередателя составляло около 3 м.

Навигационно-гидрографическое обеспечение. Движение судна и выход на станции опробования обеспечивались спутниковым приемником «НАВСТАР» (GPS) и судовым LAS-4700 (ELAC), работа которых координировалась ПЭВМ. Достигнутая точность определения координат судна ± 20 м, погрешность определения глубины не превышала 1%. Опробование велось в дрейфе, повторный выход на станцию выполнялся с указанной точностью.

Основные результаты геологических и геофизических работ

Сделана предварительная оценка состояния и развития геодинамических и литодинамических процессов на участках мелководья и берегах, согласно которой Обская губа представляет собой мелководное (до 30 м) абразионно-аккумулятивное образование эстуарного типа с небольшими уклонами и малой скоростью течения. Рельеф дна губы осложнен вытянутыми вдоль губы впадинами, которые, по всей видимости, являются прадолинами р. Оби (рис. 3). Практически у всех крупных мысов, где встречаются вдольбереговые потоки наносов, формируются крупные песчаные аккумулятивные формы в виде кос, валов и гряд высотой до 5—7 м и длиной до 15 км.

Восточный берег полуострова Ямал в пределах изучаемого района сложен преимущественно супесчано-суглинистыми отложениями. Берег почти на всем протяжении представляет собой низкую, болотистую тундровую равнину, спускающуюся к акватории невысокими обрывами. В сторону водораздела рельеф слегка повышается, образуя цепь отлогих холмов и сопков, тянущихся параллельно береговой черте в небольшом от нее отдалении. Некоторые мысы (Дровяной, Белый,



Рис. 6. Термоабразионный участок берега п-ова Гыдан.

Каменный, Мааре-сале, Боткина) являются песчаными косами. Они постепенно переходят в подводные отмели, образуя иногда широкие бухты. Высоты береговых обрывов, вне устьевых участков впадающих в губу рек, достигают 5—10 м, увеличиваясь к югу до 12—20 м.

У восточного берега Обской губы (Явай-Гыданского) суммарная протяженность абразионных (термоабразионных) и аккумулятивных участков приблизительно одинакова. Суша здесь сложена преимущественно суглинисто-глинистыми породами и является зоной наибольших современных скоростей отступления берегов (до 5—8 м/год). Явай-Гыданский берег менее изрезан, чем Ямальский. Максимальные высоты береговых обрывов до 60—65 м (рис. 6). Естественно, что местами берега весьма отлоги и образуют пологие, низменные мысы (Няр-сале-пые, Напалкова,

Наливной и другие). Типичный пример аккумулятивного (лайденного) берега приведен на рис. 7. В пределах изучаемого участка выделены следующие типы берегов: абразионные, выработанные в рыхлых породах и термоабразионные; абразионно-аккумулятивные (с отмершим или отмирающим клифом и примкнувшей аккумулятивной террасой) и аккумулятивно-выровненные.

Донные осадки губы представлены, в основном, плейстоцен-голоценовыми аллювиально-морскими и аллювиально-лагунными алевропелитовыми илами (рис. 8). В зонах размыва, в южной части исследованного участка губы, на поверх-

ность дна выходят плотные глины, либо поля железистых корок, бронирующих от размыва подстилающие глины. На прибрежном мелководье, в зоне волнового воздействия фиксируются мелкозернистые (алевроитовые) заиленные пески. В южной части губы в илах и глинах встречаются единичные, плоские, размером до 2—3 см железистые конкреции и обломки древесины. Температуры донных осадков меняются от +8°C в южной части за счет прогрева донных осадков теплыми пресными водами Оби и главным образом мелководной Тазовской губы до -0,5°C в северной части, где влияние морских соленых и холодных вод максимально для Обской губы. Южная граница проникновения морских вод (придонный галоклин с соленостью менее 1‰) не доходит до 70° с.ш. Дефицит кислорода, низкая соленость и высокая мутность вод северной части

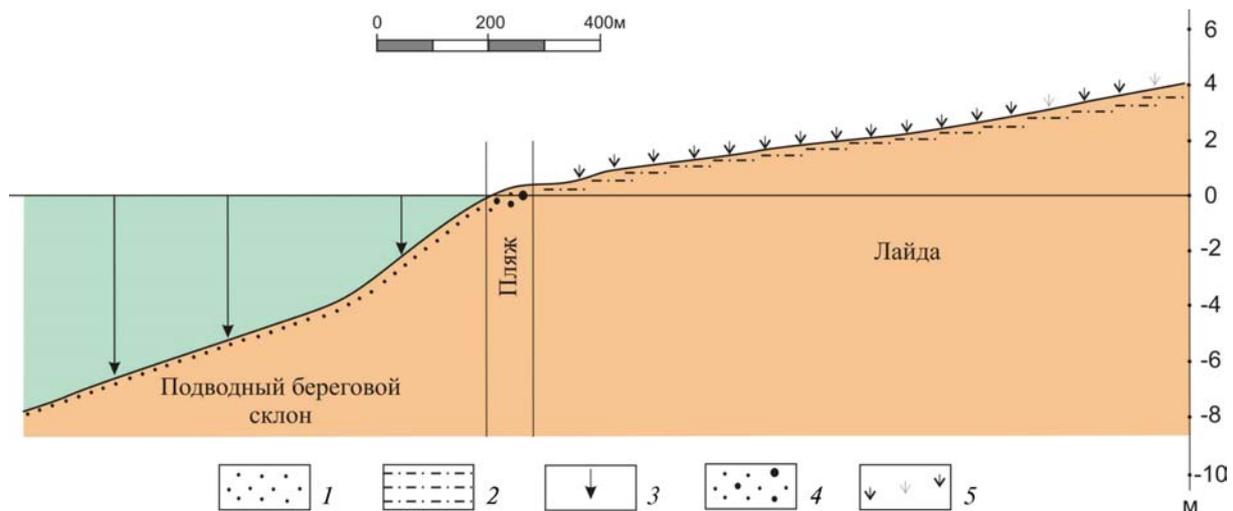
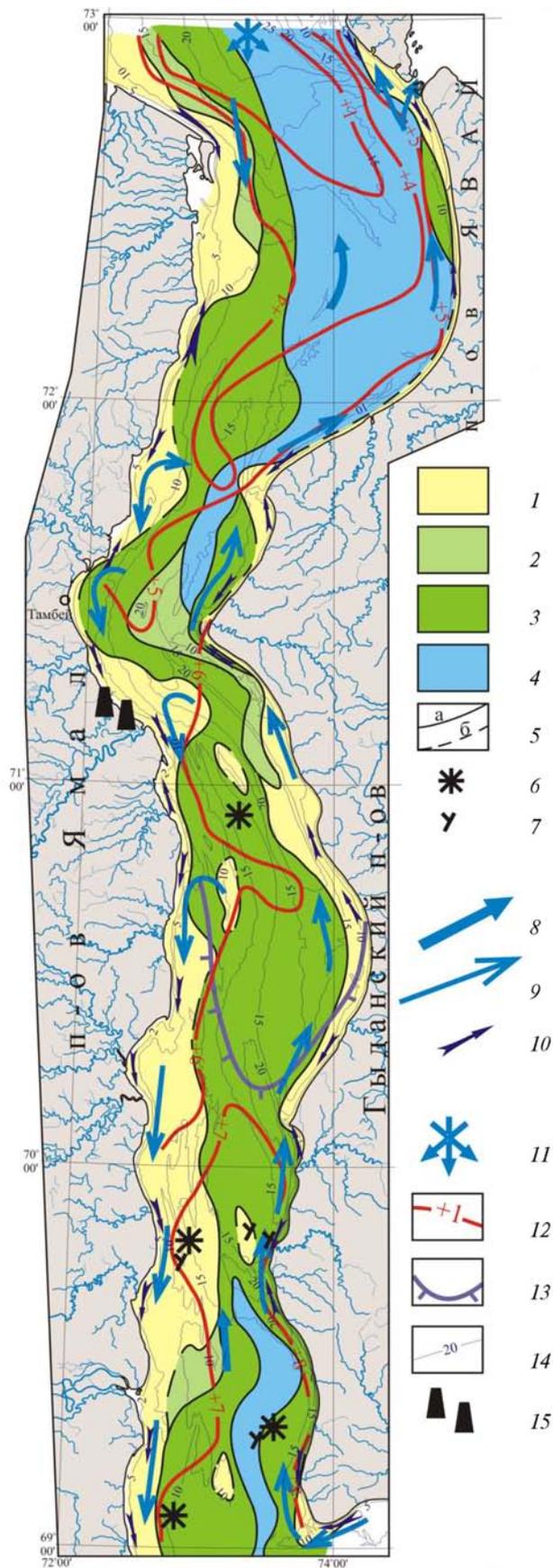


Рис. 7. Строение береговой зоны на участке №7 (р-н р. Седайха).

1 — мелкозернистые пески; 2 — глинисто-суглинистые отложения; 3 — станции донного пробоотбора; 4 — мелко-среднезернистые пески пляжа с 10% гравийно-галечного материала; 5 — травянисто-кустарниковый покров.



Обской губы — все это обуславливает угнетенное состояние животного и растительного мира водной толщи и донных осадков. Если в северной, наиболее соленой, части участка работ при донном пробозборе в осадках иногда наблюдались бентосные организмы (морские тараканы и черви), то южнее 72°, где соленость ниже 15‰, в донных осадках не встречено ни одного живого организма.

Перенос осадочного материала в северной части Обской губы происходит главным образом под воздействием Обского стокового течения северного направления. Однако в пределах подводного берегового склона (глубины от 0 до 8—10 м) в зоне волнового (ветрового) воздействия перенос материала вдольбереговыми потоками наносов идет преимущественно в обратном — южном — направлении, что обусловлено преобладающими в безледный период ветрами северных румбов. В то же время подветренные (закрытые от северных ветров) участки берегов характеризуются вдольбереговым перемещением материала Обским стоковым течением, то есть на север. На участках конвергенции вдольбереговых потоков наносов происходит их разгрузка с образованием подводных (валы, косы и гряды), а также надводных (пляжи и мысы), аккумулятивных форм. Аккумуляция материала также наблюдается в приустьевых и предустьевых частях крупных рек, впадающих в Обскую губу.

По предварительным данным содержания поллютантов в осадках в целом ниже чем, в соседней Байдарацкой губе. Среди проанализированных тяжелых и переходных металлов практически отсутствуют (ниже порога чувствительности метода определения) такие металлы I группы токсичности, как кадмий и ртуть (менее 1,0 и ме-

Рис. 8. Предварительная карта донных отложений с элементами гидро- и литодинамики.

Донные отложения — заиленные: 1 — пески мелкозернистые, 2 — алевриты крупнозернистые; илы: 3 — алевриты мелкозернистые, 4 — пелиты вязкие; 5 — границы полей донных отложений: а — установленные, б — предполагаемые; 6 — железистые конкреции и корки; 7 — обломки древесины. Элементы гидро- и литодинамики: 8 — Обское стоковое течение; 9 — направления поверхностных течений; 10 — направление вдольбереговых потоков наносов. Прочие обозначения: 11 — преобладающее направление ветров в безледный период; 12 — изотермы донных отложений, °С; 13 — условная граница проникновения морских вод (изогалина 1‰); 14 — изобаты в метрах; 15 — поселок газодобычи в пределах Южно-Тамбейского газового месторождения.

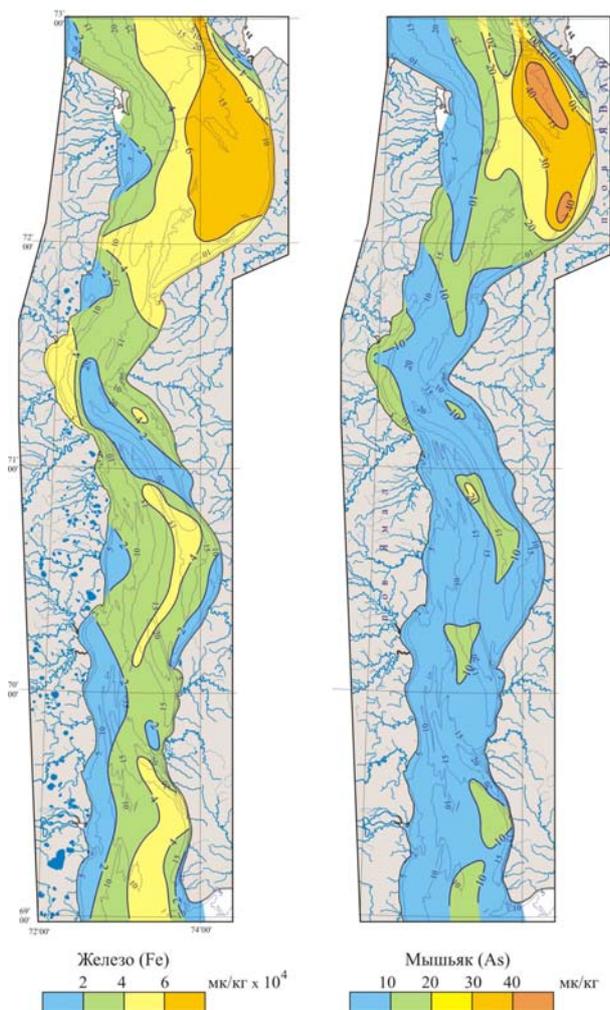


Рис. 9. Содержание железа и мышьяка в донных осадках Обской губы.

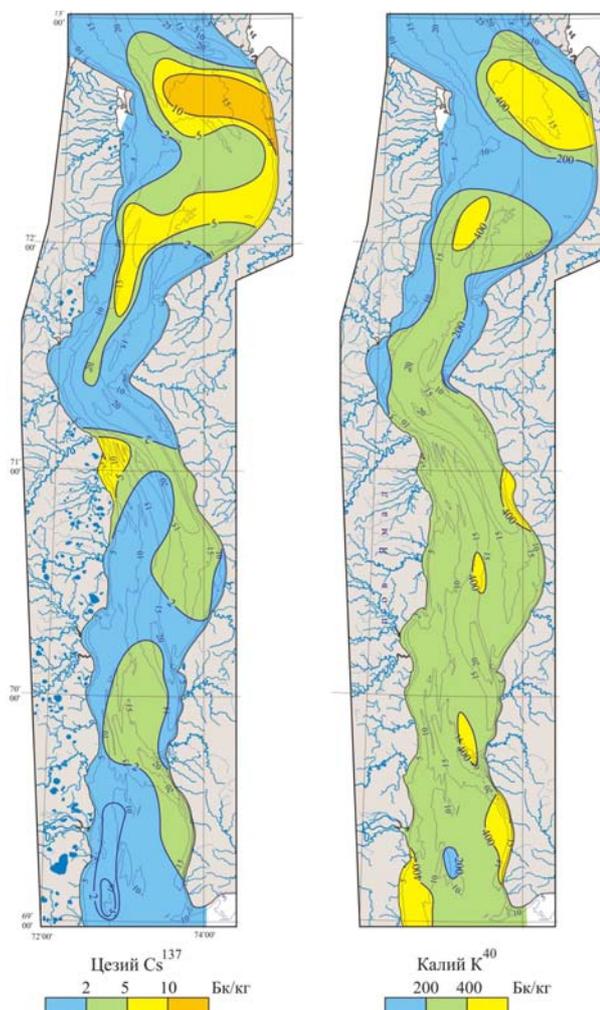


Рис.10. Содержание радионуклидов цезия и калия в донных осадках Обской губы.

нее 0,075 мг/кг соответственно). В целом, содержания радионуклидов, металлов и органических соединений отражают гранулометрический состав донных отложений. Их максимальные концентрации приурочены к полям пелитовых илов в северной части исследуемого участка (рис. 9, 10).

Геофизические исследования в 2006 г дополнили результаты работ, выполненных в 2005 г, и были направлены на выявление основных закономерностей распределения как по площади, так и по разрезу донных отложений.

Типичные разрезы приведены на рис. 11.

В формировании разрезов участвуют слоистые толщи разновозрастных осадков (толщи А и В), залегающих с угловым несогласием относительно друг друга и разделенных интенсивной по отображению границей (кровля толщи А) (рис. 11а).

Кровля толщи А (граница 1) носит сугубо эрозионный характер. Максимально видимая ее мощность на временных разрезах составляет

10–15 м. Толща тонкослоистая, как правило, хорошо акустически дифференцированная, характеризуется протяженными, выдержанными по простиранию амплитудно-динамическими характеристиками отражений. Она часто состоит из отдельных пачек слоев выдержанной мощности, согласного залегания в пределах толщи. Слои имеют различную форму поверхности — горизонтальную, наклонную, складчатую. К особенностям толщи А можно также отнести наличие в записи сейсмогеологических неоднородностей в виде отражающих площадок различной протяженности, подчас образующих (исключительно по интенсивности отображения) физическую границу в целом, носящую форму ломаной линии (граница *m*) (рис. 11с, д, е). Характер отображения позволяет отождествлять границу *m* с кровлей многолетнемерзлых пород (ММП).

Толща В — тонкослоистая, переменчивой мощности и переменчивой амплитудной выраженности — с прорисовкой во временных разре-

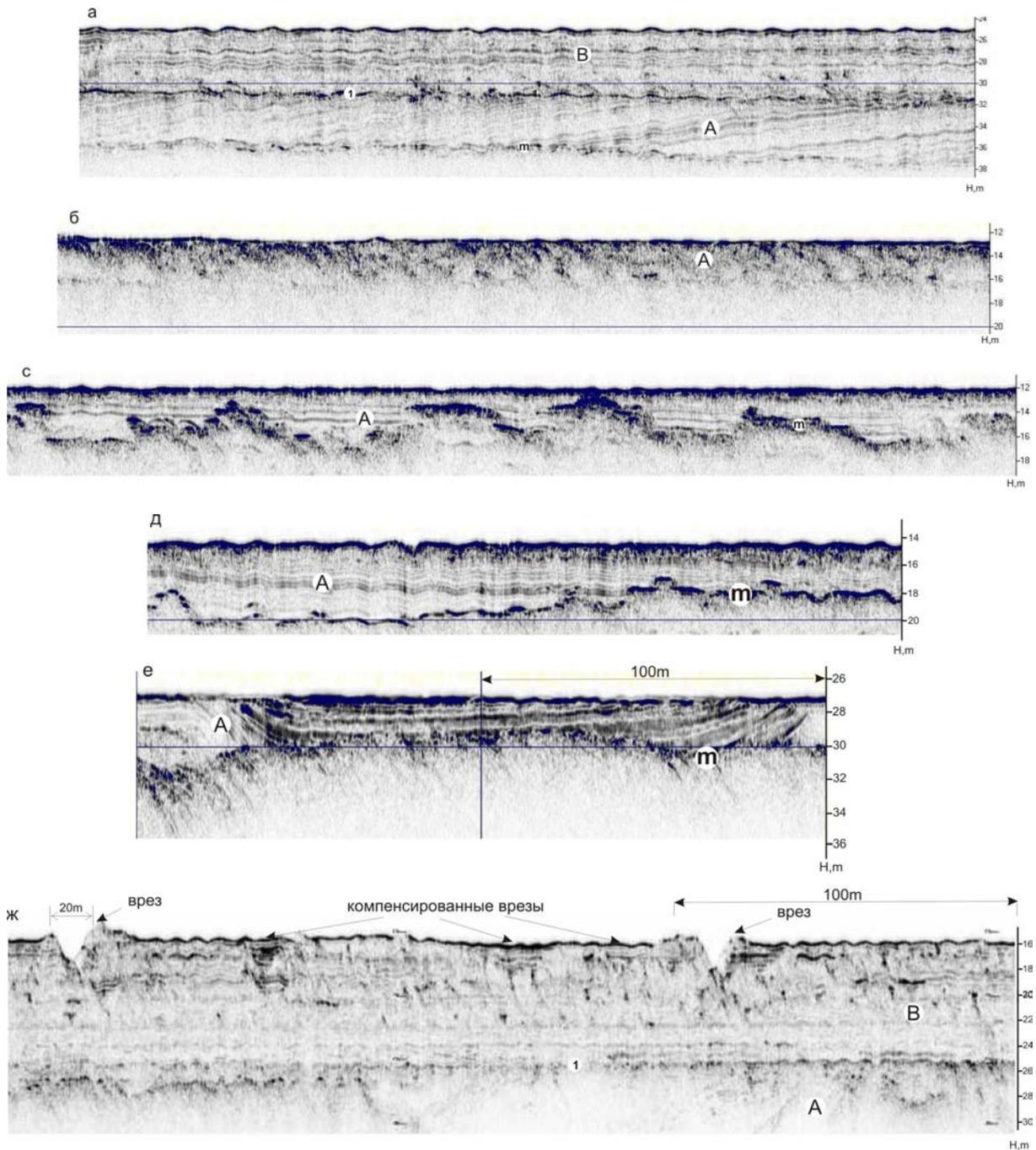


Рис. 11. Фрагменты записей по профилям с отображением: а, б — толщ А и Б; с, д, е — предполагаемой кровли многолетнемерзлых пород (m); ж — воздействия ледовых торосов (стамух) на донную поверхность.

зах от отчетливо согласных, пологих, близких к горизонтальному залеганию внутренних отражающих границ, до хаотичных, неупорядоченных, слабоамплитудных отражений, образующих в общем-то «немую» толщу. Относительно маломощная (от нуля до первых метров) обычно с хорошо выраженной сейсмоструктурой в центральной, наиболее глубоководной, части профилей толща *B* становится практически «немой» на близбереговых их отрезках (рис. 11б). По этой же причине малоинформативны и профили в самой

южной части участка. Толща *B* имеет тенденцию наращивания мощности в направлении к берегу. Наибольшая ее мощность (более 15 м) отмечается в северной части участка близ гыданского берега.

К особенностям участка относится практически повсеместная загазованность рыхлых отложений.

Отличительными чертами рельефа является наличие врезов в донную поверхность глубиной до 3 м, шириной — первые десятки метров на

фоне компенсированных («залеченных») врезов (рис. 11ж). Вполне вероятно, что таким образом фиксируется вспахивающее действие дрейфующих полей льда или стамух.

Выводы

Выполненные полевые работы 2005—2006 гг. позволят решить следующие геологические задачи:

— оценить фоновое состояние донных осадков, водной толщи и берегов северной части Обской губы в районах предполагаемого интенсивного промышленного и хозяйственного освоения и прогноз развития опасных геологических процессов, в том числе инициируемых техногенным воздействием на геологическую среду;

— дать оценку геохимического состояния компонентов окружающей среды (донных отложений, водной толщи) и выявить основные потоки загрязняющих веществ, условия их миграции и аккумуляции;

— выявить основные геодинамические и литодинамические процессы на участках прибрежного мелководья и берегах;

— определить участки размыва, транзита и аккумуляции осадочного материала, в том числе загрязняющих веществ.

Соисполнители работ по проекту — ВСЕГИН-ГЕО (Москва) выполняют следующие задачи:

— проводят изучение геокриологических условий береговой зоны северной части Обской губы Карского моря с целью оценки состояния и прогноза изменений геологической среды под воздействием техногенной нагрузки в процессе промышленного и хозяйственного освоения региона;

— изучают гидрогеологические условия района работ для оценки возможности использования подмерзлотных вод для хозяйственных и промышленных нужд.

Комплексная партия в 2003 г. выполнила геоэкологические исследования в Байдарацкой губе (юго-западная часть ямальского региона) и в конце 2007 г. закончит работы по Обской губе (восточная часть ямальского региона). Отчет по проекту будет представлен в 2007 г.

Неизученной частью остается северо- и северо-западная площади ямальского мелководья. Поэтому продолжением исследований Комплексной партии должны быть эти участки. По результатам данных исследований должен быть составлен Атлас всей ямальской прибрежно-шельфовой зоны.

Инженерно-геологические изыскания на лицензионных участках «Кольский-1», «Кольский-2» и «Кольский-3»

Экспедиционные работы в августе—октябре 2006 г. проводились в рамках контракта с ОАО «Севернефтегаз»: «Морские инженерные изыскания на лицензионных участках ОАО «Севернефтегаз» «Кольский-1», «Кольский-2» и «Кольский-3» в пределах Кольско-Канинской моноклинали на континентальном шельфе Баренцева моря». Работы осуществлялись в два этапа на ГС «Гидролог», принадлежащем Гидрографической службе Северного флота, г. Мурманск (рис. 1).

Цель исследований — проведение комплексных инженерно-геологических изысканий, соответствующих стадии обоснования инвестиций, на трех полигонах лицензионных участков Кольского шельфа с целью получения в полном объеме материалов, необходимых для выбора площадок для постановки ППБУ для бурения трех поисковых скважин на лицензионных участках «Кольский-1», «Кольский-2» и «Кольский-3».

Лицензионные участки «Кольский-1, 2, 3» расположены на шельфе Баренцева моря, в 30—70 км севернее Кольского полуострова на расстоянии 220—300 км от г. Мурманска (рис. 2). Глубина моря на участках варьирует от 120 до 170—220 м. Ближайшими якорными стоянками являются: Терiberская губа (п. Терiberка) и г. Мурманск.

Объектом инженерно-геологических изысканий являлись неоплейстоцен-голоценовые отложения, которые являются верхним горизонтом плиоцен(?)—четвертичных покровных отложений, единым плащом перекрывающих толщи мезозойских и верхнекайнозойских пород шельфа Кольского полуострова.

В ходе инженерно-геологических изысканий решались следующие задачи:



Рис. 1. Экспедиционное судно ГС «Гидролог».

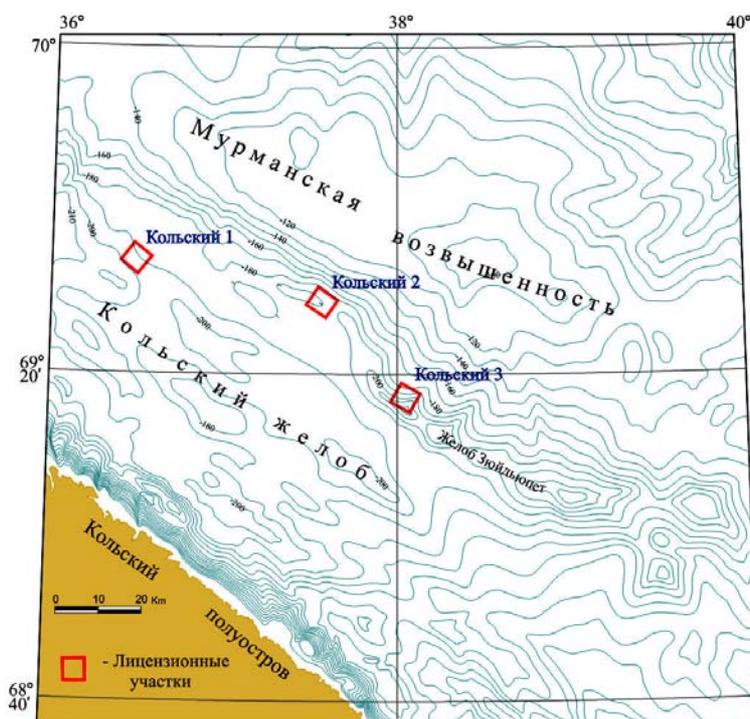


Рис. 2. Схема расположения лицензионных участков ОАО «Севернефтегаз».

- построение детальных батиметрических карт (масштаба 1 : 10 000), являющимися базовыми для составления литодинамических карт;
- получение комплексной геофизической информации для характеристик поверхности дна и строения верхней части осадочной толщи;
- выполнение донного пробоотбора на полигонах изысканий гравитационными и гидростатическими колонковыми пробоотборниками на глубину по грунту до 3—5 м;

— инженерно-геологическое описание разрезом донных грунтов и фотодокументацию керн на донных грунтах;

— выполнение инженерно-геологических определений: влажности, плотности, удельного сопротивления пенетрации в судовой лаборатории;

— исследование геодезической, инженерно-геологической и гидрометеорологической обстановки и выявление параметров, которые могут помешать установке ППБУ.

Исходя из цели и задач исследований состав инженерно-геологических изысканий включал следующий комплекс работ:

♦ Инженерно-геодезические изыскания, включающие инженерно-гидрографические работы:

— промерные работы и съемка рельефа морского дна, многолучевое эхолотирование;

— геодезическое обеспечение всех видов работ.

♦ Инженерно-геологические изыскания:

— непрерывное сейсмопрофилирование НЧ;

— непрерывное сейсмопрофилирование ВЧ;

— гидролокация бокового обзора;

— магнитометрия;

— опробование донных грунтов пробоотборниками на глубину до 3—5 м;

— лабораторные исследования грунтов.

♦ Инженерно-гидрометеорологические изыскания:

— измерение параметров волнения, течений на 4 горизонтах, колебания уровня моря, температуры и солености морской воды методом постановки АБС,

— судовые наблюдения за метеопараметрами и видимыми характеристиками волн,

— уровенные наблюдения на водном посту.

♦ Обработка и обобщение полевых материалов.

♦ Подготовка технического отчета.

Разделение экспедиционных работ на два этапа. На первом этапе были выполнены комплекс геофизических исследований, промерные работы и океанографические исследования, включающие постановку трех буйковых станций, зондирование водной толщи и метеорологические наблюдения. На втором этапе проводилось геотехническое опробование и продолжались океанографические исследования.

Экспедиционные работы выполнялись пятью отрядами: гидрографическим (начальник отряда Ю.Г. Фирсов), геофизическим (начальник отряда В.А. Гладыш), океанографическим (начальник отряда А.В. Нестеров, ГУ «ААНИИ»), инженерно-геологическим (начальник отряда Н.А. Куринный) и отрядом пробоотбора (начальник отряда Л.Р. Сысоев). Инженерно-гид-

рометеорологические изыскания выполнялись сотрудниками ГУ ААНИИ (г. Санкт-Петербург) на договорной основе. Инженерно-геодезические и инженерно-геологические изыскания выполнялись сотрудниками ФГУП «ВНИИОкеангеология».

Начальник экспедиционных работ — зав. отделом литологии и геохимии ФГУП «ВНИИОкеангеология», канд. геол.-мин. наук Б.Г. Ванштейн.

Руководитель проекта зам. директора ФГУП «ВНИИОкеангеология», докт. геол.-мин. наук Г.А. Черкашев.

Инженерно-геодезические изыскания

Инженерно-геодезические изыскания включали гидрографическое обеспечение комплексных геофизических и промерных работ, а также геотехнического опробования на лицензионных участках «Кольский-1, 2, 3» и выполнение промерных работ с использованием многолучевого эхолота SEA BEAM 1185.

Для определения планового положения и навигации при проведении промерных и геофизических работ и геотехнического опробования использовался модуль для высокоточной глобальной навигации модель C-NAV-2050R. Универсальный модуль двухчастотного приемника GPS L1 L2 обеспечивает пользователям работу с разными уровнями точности определения координат. Приемник C-NAV-2050R поддерживает режимы бесплатного дифференциального сервиса пониженной точности WAAS/EGNOS/MSAS в зонах обслуживания этих систем и режим платного глобального высокоточного дифференциального сервиса дециметрового уровня точности RTG DUAL.

Осуществление высокоточной навигации выполняется с использованием электронной гидрографической информационной системы (ЭГИС) НУРАСК, предназначенной для проведения инженерных изысканий, промерных работ и обеспечения мониторинга участков дноуглубительных работ, разработанной американской компанией НУРАСК. В совокупности с датчиками информации (эхолоты, приемники спутниковой навигационной системы, гироскопы, лаги и т.д.) программное обеспечение НУРАСК образует ЭГИС различного уровня интеграции. Наиболее полная система — НУРАСК MAX обеспечивает полный технологический комплекс гидрографической съемки, включая проектирование съемки, выполнение съемки в реальном масштабе времени, редактирование зарегистрированной информации и представления результатов.

По результатам обработки по внутренней сходимости были полученные точностные характеристики модуля C-NAV-2050R. Результаты оценивались на уровне 68% доверительной веро-

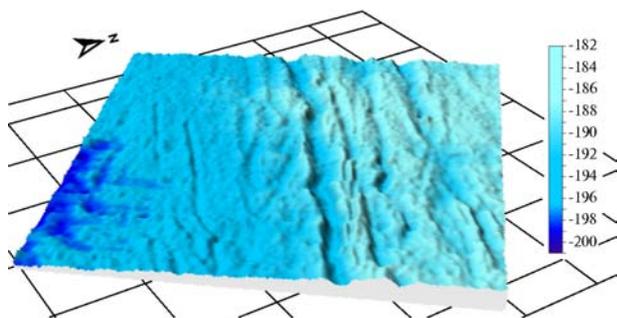


Рис. 3. Объемная модель рельефа дна, лицензионный участок «Кольский-1».

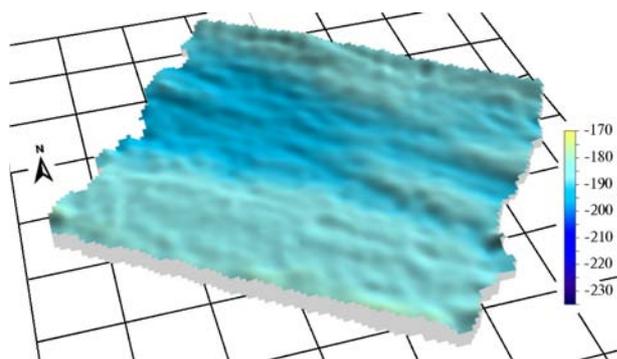


Рис. 4. Объемная модель рельефа дна, лицензионный участок «Кольский-2».

ятности (средние квадратические погрешности) определения координат в метрах: широты ($\sigma \varphi$), долготы ($\sigma \chi$) и высоты (σz). На основе расчетов по программе TRIMBLE GPS Monitor получено: $\sigma \varphi = 0,404$ м; $\sigma \chi = 0,074$ м; $\sigma z = 0,26$ м.

Батиметрическая съемка глубин морского дна проводилась с помощью гидрографического комплекса SEA BEAM 1185, производства L-3 Communications ELAC Nautik GmbH, Kiel, Germany и L-3 Communications Inc. SeaBeam Instruments E. Walpole, USA. Гидрографический комплекс SEA BEAM 1185 является многолучевым эхолотом для выполнения высокоточной гидрографической съемки на мелководье в соответствии с требованиями Международной Гидрографической Организации (ИГО) S-44.

На каждом полигоне предусматривалось выполнение двух системы галсов: основного и дополнительного (секущего) покрытия. Галсы секущего покрытия располагаются в крест (под углом 90°) к основному. Расстояние между галсами основного и дополнительного покрытия на всех полигонах — 200 м. Всего на каждом лицензионном участке было выполнено 52 профиля, протяженность каждого из которых составляла 5 км.

В результате проведения промерных работ получены массивы батиметрических данных по

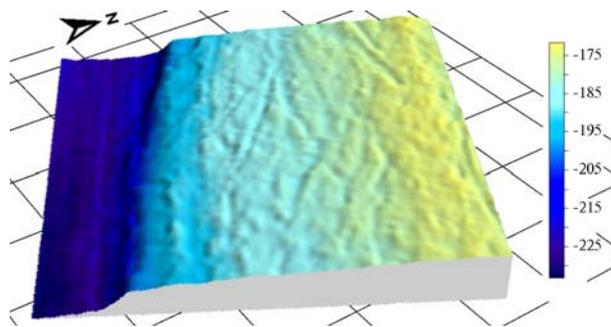


Рис. 5. Объемная модель рельефа дна, лицензионный участок «Кольский-3».

трем лицензионным участкам. Результаты обработки промерных работ приведены на рис. 3—5.

Предварительный анализ результатов промерных работ показал, что в пределах лицензионного участка «Кольский-1» глубины дна моря меняются от 185 до 205 метров и постепенно возрастают в юго-западном направлении. Наиболее мелководной половиной является северо-восточная часть полигона, где средние глубины дна моря составляют 188—191 метров, направления изобат проходят с северо-запада на юго-восток. Так же в этой части полигона отмечаются небольшие каналы (борозды выпаживания) (рис. 3), глубины которых составляют 5—7 метров. Протяженность борозд совпадает с направлением изобат с северо-востока на юго-запад. В юго-западной половине (более глубоководной) тоже наблюдаются каналы, но меньшие по размерам, с глубинами 3—4 метра.

На лицензионном участке «Кольский-2» глубины дна моря изменяются от 180 до 200 метров. Направления изобат на этом полигоне с северо-запада на юго-восток. Наиболее мелководные участки располагаются в северо-восточной и в юго-западной частях полигона, где средние глубины дна моря составляют 188—191 метров, а средняя часть полигона характеризуется понижением. В северо-западной части полигона находится впадина с отметками глубин дна моря до 200 метров. На этом полигоне каналы не наблюдаются (рис. 4).

Лицензионный участок «Кольский-3» характеризуется наибольшей изменчивостью глубин дна моря: от 170 до 235 метров (рис. 5). Направления изобат на этом полигоне, также как и на предыдущих, с северо-запада на юго-восток. Наиболее мелководный участок в северо-восточной части полигона, где средние глубины дна моря составляют 170—175 метров. С северо-востока на юго-запад на 2/3 от всего полигона расположен полого наклонный участок с постепен-

ным возрастанием отметок глубин от 170 до 195 метров. Далее на юго-восток с отметок 195 метров начинается свал глубин. Здесь наблюдается склон высотой около 30 метров. И лишь на самом юго-западе полигона располагается наиболее глубоководный участок, глубины которого достигают 230—235 метров. В пределах полигона, как и на лицензионном участке «Кольский-1», отмечаются каналы, совпадающие с направлением изобат с северо-востока на юго-запад.

Инженерно-геологические изыскания

Инженерно-геологические изыскания включали в себя комплекс геофизических методов исследования (низкочастотная сейсмоакустическая съемка, гидролокационная съемка, высокочастотная сейсмоакустическая съемка), геотехническое опробование и аналитические работы на борту судна.

Низкочастотная сейсмоакустическая съемка (НСП НЧ) в пределах трех лицензионных участков проводилась при помощи сейсмоакустического комплекса «СОНИК-4М». Комплекс предназначен для проведения работ по сейсмоакустическому профилированию на шельфе морей и океанов, а также на озерах (водоемах с пресной водой) для изучения рельефа и разреза верхней осадочной толщи (комплекс сертифицирован Комитетом по стандартизации, метрологии и сертификации РФ).

На каждом полигоне было выполнено 52 профиля по сети 200 × 200 метров (по 26 взаимно перпендикулярных галсов), каждый протяженностью 5 километров.

На рисунках 6—8 приведены сейсмоакустические разрезы для трех лицензионных участков. Выбор сейсмоакустических разрезов выполнен на основе предварительного анализа результатов геотехнического опробования и характеризует участки полигонов, наиболее благоприятных для постановки ППБУ.

Анализ сейсмоакустических разрезов на лицензионном участке «Кольский-1» (рис. 6) показывает весьма сложное строение верхней части осадочного чехла. В разрезе выделяются два отражающих горизонта (ОГ), имеющих сплошное распространение в пределах лицензионного участка.

Нижний отражающий горизонт (ОГ-URU) совпадает с региональ-

ным несогласием в кровле коренных отложений (URU – upper regional unconformity). Верхний ОГ-1 коррелируется с кровлей рыхлых четвертичных образований и с подошвой голоценовых осадков.

Кровля коренных образований в пределах полигона представляет собой достаточно ровную, выровненную поверхность, совпадающую с эрозионной границей. Превышения кровли составляют первые метры. К поверхности URU последовательно выходят палеозойские и мезозойские отложения. Непосредственно в кровле коренных образований фиксируются многочисленные тектонические нарушения. В центральной части лицензионного участка выявлено несколько микрогратбенов, образованных сбросами. Амплитуды сдвигов не превышают первые метры. Кроме того,

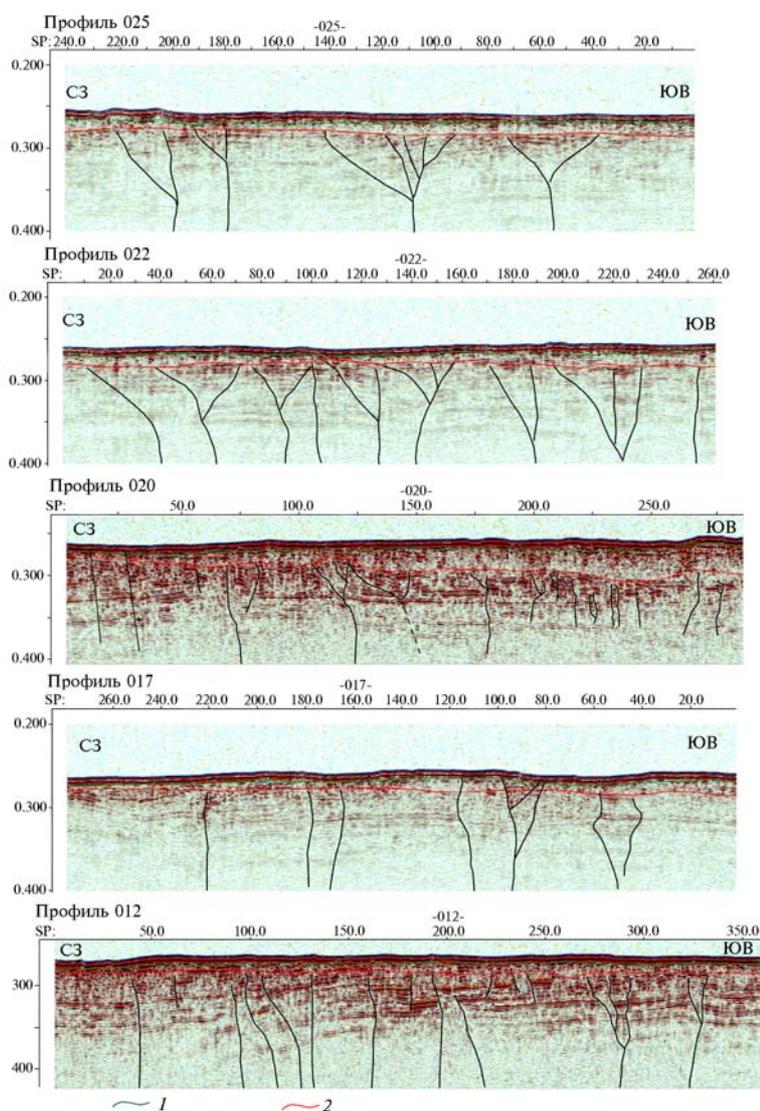


Рис. 6. Результаты сейсмоакустического профилирования (НСП НЧ), лицензионный участок «Кольский-1».

1 — отражающий горизонт 1, подошва голоценовых осадков; 2 — отражающий горизонт URU (upper regional unconformity).

фиксируется ряд субвертикальных разломов, показывающих небольшие смещения вмещающих пород. В основном разломы образуют равномерную сетку и уходят корнями за пределы зоны освещения сейсмоакустических профилей.

В нескольких местах на профилях ЮЗ-СВ простираения предполагается наличие новейших тектонических нарушений, выраженных в рельефе морского дна. По предварительным данным, значительных зон газонасыщенных осадков не обнаружено.

В пределах лицензионного участка «Кольский-2» (рис. 7) выделены такие же два отражающих горизонта ОГ-1 (подошва голоценовых осадков) и ОГ-URU (кровля коренных пород).

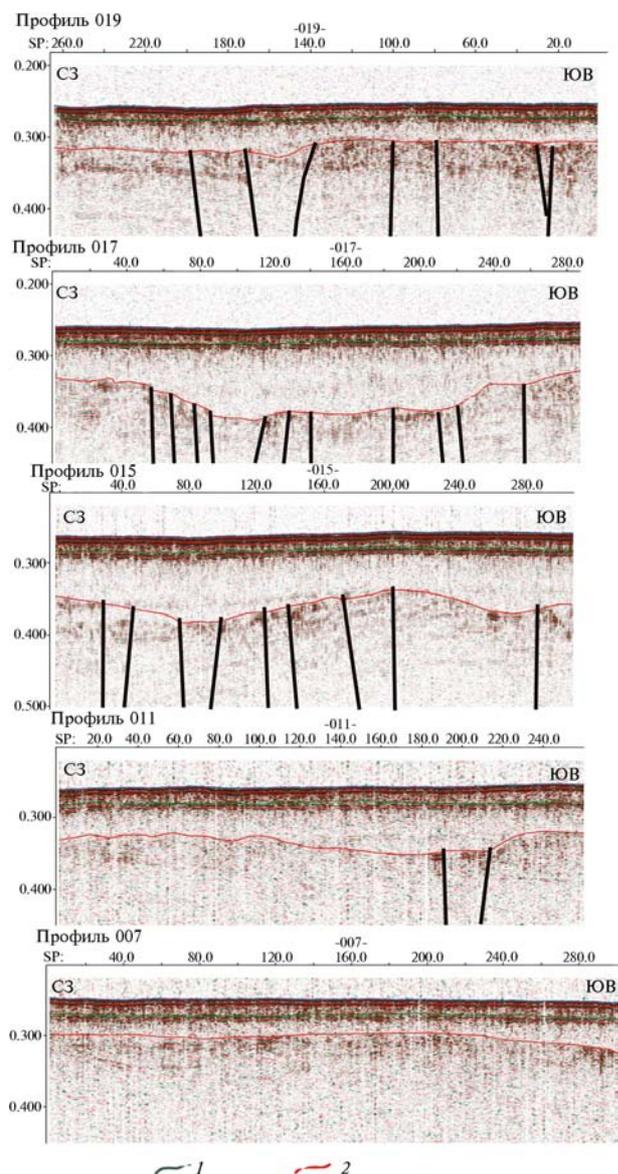


Рис. 7. Результаты сейсмоакустического профилирования (НСП НЧ), лицензионный участок «Кольский-2».

Условные обозначения см. на рис. 6.

Кровля коренных образований в пределах лицензионного участка образует субширотный трогообразный прогиб с относительным углублением до 50 м. Трог заполнен акустически прозрачными плейстоценовыми осадками. Борта трога образованы сбросами, вдоль которых мы можем предположить поступление газовых флюидов в верхние слои разреза. Толща акустически прозрачных осадков перекрыта голоценовыми осадками с ОГ-1 в подошве. Судя по характеру внутренних отражений, осадки представлены глинистыми фациями и могут образовывать псевдопокрышку, препятствующую продвижению газовых флюидов к поверхности. Мощности плейстоценовых осадков изменяются от 95 до 25 метров с

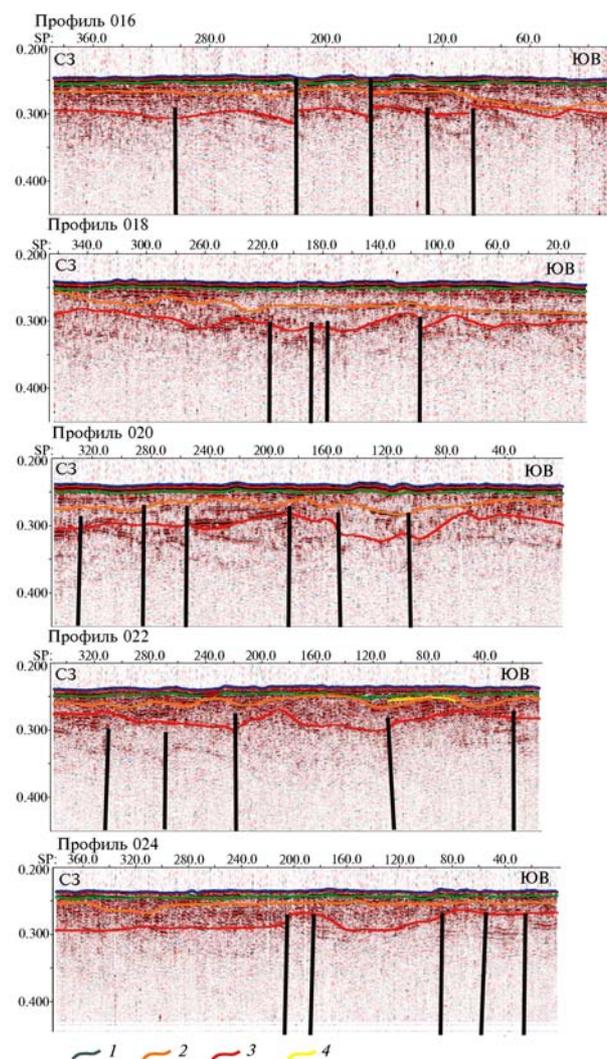


Рис. 8. Результаты сейсмоакустического профилирования (НСП НЧ), лицензионный участок «Кольский-3».

1 — отражающий горизонт 1, подошва голоценовых осадков; 2 — отражающий горизонт 2, позднеплейстоценовые (?) осадки; 3 — отражающий горизонт URU (upper regional unconformity); 4 — кровля толщи газонасыщенных осадков

максимумом в трогообразном прогибе. Мощности голоценовых осадков изменяются в незначительных пределах от 9 до 19 м с максимумом в центральной части участка.

Тектонические нарушения в основном представлены сбросами с амплитудами в первые метры и не выходящими непосредственно к поверхности современного морского дна. Следовательно, современная тектоника в рамках лицензионного участка на данном этапе исследований не устанавливается.

Судя по характеру внутренних отражений ниже ОГ-2 (URU) внутри толщи коренных образований, южная часть полигона характеризуется более активным просачиванием газовых флюидов. Именно в этой части полигона наблюдается наиболее нарушенная внутренняя структура отражений. Внутренние рефлекторы практически полностью замаскированы.

Сейсмоакустическая структура на лицензионном участке «Кольский-3» наиболее сложная из всех трех исследованных полигонов (рис. 8). В сейсмоакустическом разрезе здесь выделены три ОГ. ОГ-1 — подошва голоценовых осадков, ОГ-2 — подошва плотных позднеплейстоценовых осадков и ОГ-URU — кровля коренных пород.

Лицензионный участок расположен на СВ борту трогообразного прогиба, выраженного в современном рельефе линейным понижением с относительными углублениями до 30—40 м. Анализ сейсмоакустических разрезов показывает, что данная отрицательная форма рельефа имеет отчетливый тектонический характер и образована серией сбросов субширотного простириания. Часть сбросов выходит непосредственно к поверхности морского дна и, следовательно, имеют новейший возраст. Профили СЗ-ЮВ простириания часто расположены вдоль линии разлома и поэтому малоинформативны. Вдоль борта трогообразного прогиба наблюдается вытянутая область газонасыщенных осадков шириной до 1200 м. Кровля зоны газонасыщенности часто совпадает с ОГ-2 и располагается на поддонных глубинах от 4 до 65 м. Преобладающие глубины — от 9 до 16 м. Кроме того в СВ части лицензионного участка обнаружена небольшая (600×600 м) зона приповерхностных газонасыщенных осадков, связанная с просачиванием флюидов по системе разломов. Максимальные мощности как голоценовых (до 23 м), так и позднеплейстоценовых (до 100 м) осадков приурочены к трогообразному прогибу.

Гидролокационная съемка и высокочастотное профилирование (НСП ВЧ) морского дна проводились с использованием гидроакустического

комплекса «СОНИК-3М». Комплекс представляет собой глубоководный гидроакустический буксируемый аппарат и комплект наборной аппаратуры связи и регистрации данных. Комплекс изготовлен в ФГУП «ВНИИОкеангеология».

Гидроакустический комплекс (ГАК) «СОНИК-3М» предназначен для изучения геоморфологического строения морского дна, проведения геологических, инженерно-геологических, экологических и др. видов морских работ, проведения площадной гидролокационной съемки и сейсмоакустического профилирования, поиска затонувших и затопленных объектов, трубопроводов и кабелей при глубинах акваторий от 100 до 6000 м (специальное исполнение до 10000 м).

На каждом полигоне было выполнено 52 профиля по сети 200 × 200 метров (по 26 взаимноперпендикулярных галсов), каждый протяженностью 5 километров.

В ходе предварительной интерпретации ВЧ сейсмоакустических данных установлена кровля коренных мезо-палеозойских образований на всех лицензионных участках. Мощность этих четвертичных образований не превышает 90 м.

По предварительным данным ГБО, техногенные объекты в виде мелких предметов максимального размера до первых метров были обнаружены на лицензионных участках «Кольский-1» и «Кольский-3».

Морская магнитная съемка проводилась с использованием градиентометра, состоящего из двух синхронно работающих магнитометров «Geometrics G-866», двух буксируемых датчиков (гондол), и персонального компьютера типа IBM PC с установленной операционной системой WINDOWS XP и программным пакетом «Geometrics MAGLOG».

Морской магнитометр «Geometrics G-866» предназначен для использования в различных морских геотехнических и археологических областях, где требуется высокая производительность и большая скорость проведения съемки.

Морской магнитометр «Geometrics G-866» может быть использован как в режиме магнитометра, так и в режиме синхронного градиентометра с применением двух датчиков. Принцип действия датчика магнитометра основан на явлении прецессии протонов в магнитном поле. Датчик представляет собой многовитковый соленоид, содержащий внутри вещество, богатое протонами — водородосодержащие жидкости. Данные магнитометрии, совместно с данными спутниковой навигации регистрировались на жесткий диск персонального компьютера в файлы текстового формата. Данные спутниковой навига-

ции регистрировались в виде географических координат в системе WGS-84.

Первичная обработка гидромагнитных данных выполнялась с использованием современного сертифицированного коммерческого программного обеспечения Geosoft Oasis Montaj 6.0. Обработка включала: редактирование исходных данных, учет девиации, предварительную увязку результатов наблюдений и построение карт графиков и изолиний аномального магнитного поля.

Анализ карт графиков и аномального магнитного поля указывает на отсутствие техногенных объектов в пределах лицензионных участков «Кольский-1, 2, 3». В то же время, структура магнитного поля на лицензионном участке «Кольский-1» имеет уступообразную форму северо-западного простирания и значения поля возрастают с юго-запада на северо-восток, а в пределах лицензионного участка «Кольский-2» — простирание аномалий запад-северо-западное, а значения поля несколько увеличиваются к центру полигона. Структура магнитного поля на лицензионном участке «Кольский-3» наименее упорядочена. Такая структура может быть вызвана, например, зоной тектонических нарушений. В генеральном плане значения поля возрастают с запада на северо-восток.

Инженерно-геологические изыскания выполняются отдельным вторым этапом после завершения гидрографических и геофизических работ на полигонах.

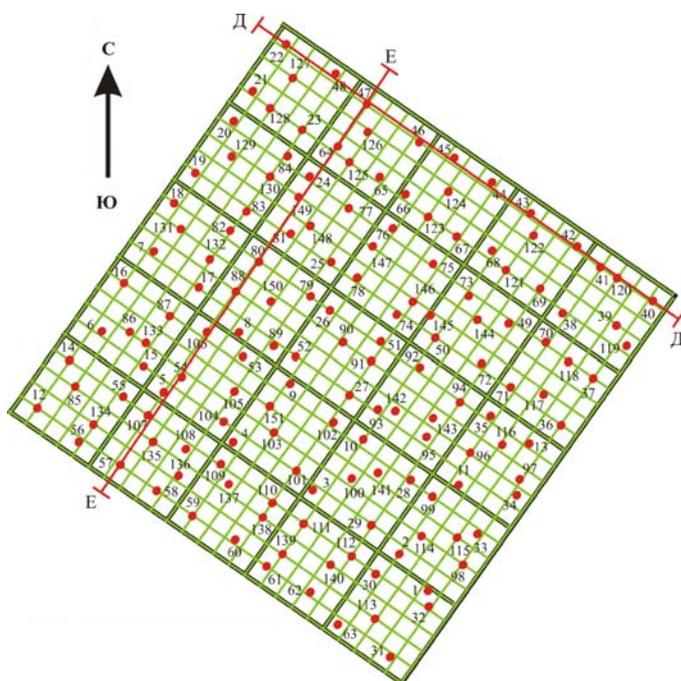


Рис. 9. Расположение станций донного опробования, лицензионный участок «Кольский-1». ДД, ЕЕ — линии геологических разрезов.

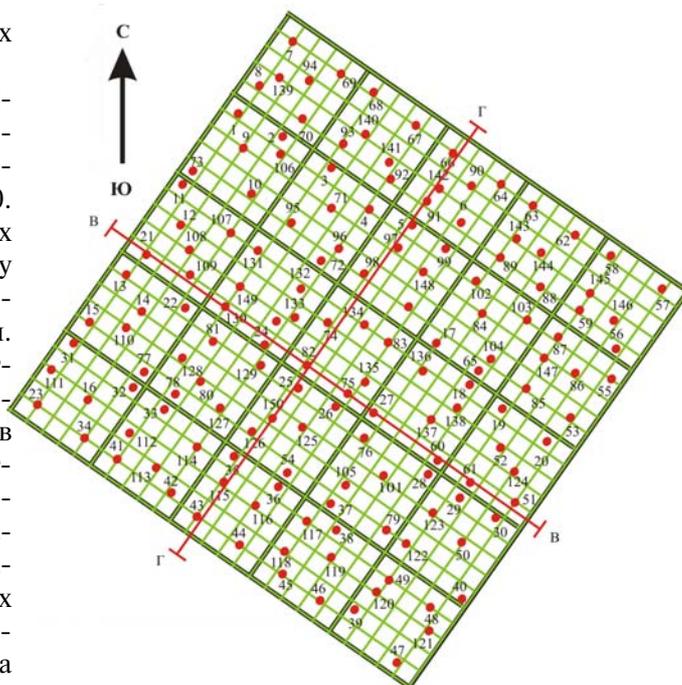


Рис. 10. Расположение станций донного опробования, лицензионный участок «Кольский-2». ВВ, ГГ — линии геологических разрезов.

Геотехнические и лабораторные исследования грунтов выполнялись в основном во второй части рейса после завершения гидрографических и геофизических работ на трех лицензионных участках «Кольский-1, 2, 3». Станции геотехнического опробования на лицензионных участках приведены на рисунках 9—11. Всего на трех лицензионных участках было выполнено 450 станций геотехнического опробования.

Отбор проб донных грунтов выполняется 4-метровой гидростатической трубкой (рис. 12).

Донный пробоотбор выполнялся круглосучетно с учетом реальных гидрометеорологических условий.

После подъема геотехнического снаряда на борт судна пробоотборник надежно закреплялся и из него извлекается керн. Далее проводилась фотодокументация и описание керна, отбор проб донных грунтов в судовую и стационарную лабораторию. Пример документации донных грунтов с результатами аналитических данных приведен на рис. 13.

Получаемые вследствие донного пробоотбора образцы керна подвергались на борту судна визуальному описанию грунтов и отдельным аналитическим инженерно-геологическим определениям по методикам, разработанным в России и, в частности, в лаборатории инженерной геологии ВНИИОкеангеологии.

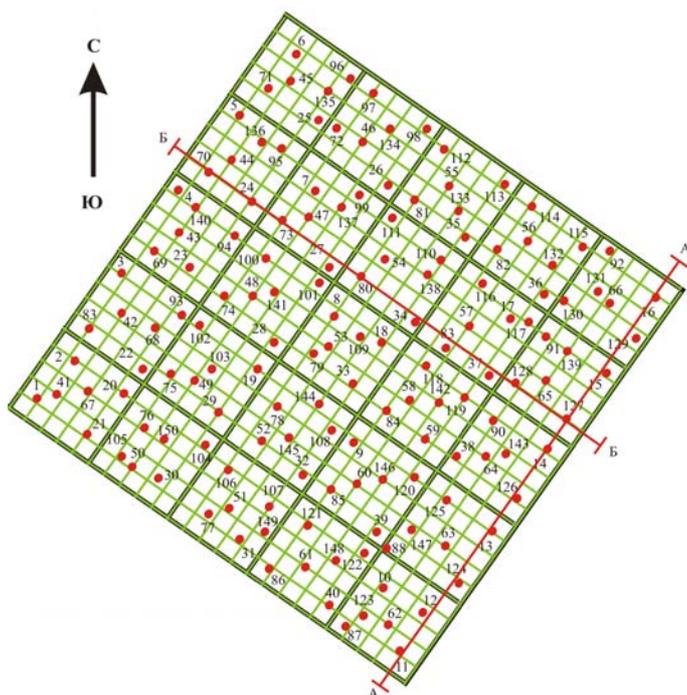


Рис. 11. Расположение станций донного опробования, лицензионный участок «Кольский-3».

АА, ББ — линии геологических разрезов.



Рис. 12. Гидростатическая трубка.

В судовой инженерно-геологической лаборатории, развернутой на борту судна, выполнялись следующие определения физико-механических свойств грунтов:

- определение природной влажности;
- определение плотности;
- определение удельного сопротивления пенетрации;
- сопротивление вращательному срезу на приборе ПВС.

Анализ колонок донных грунтов позволил выделить следующие разновидности грунтов.

Донные грунты лицензионного участка «Кольский-1».

В пределах лицензионного участка «Кольский-1» в колонках были задокументированы следующие различия донных грунтов (сверху вниз колонки):

— супесь пылеватая (ил супесчаный) серого цвета с зеленоватым оттенком, текучей консистенции с примесью мелкозернистого песка, на поверхности осадки отмечаются полихеты;

— супесь пылеватая (ил супесчаный) зеленовато-серая, пластичная, с примазками гидротроилита, иногда с гнездами и линзами песка мелкого; консистенция от текучепластичной до мягкопластичной;

— песок серый до серо-коричневого цвета, мелкозернистый, иногда с примесью пелитовой фракции;

— ил глинистый от серо-коричневого до серого с примазками и стяжениями гидротроилита, иногда с гнездами и линзами песка мелкого, и единичными зернами гравия, консистенция от текучепластичной до мягкопластичной;

— ил глинистый голубовато-серый с включениями гравия и щебня коренных пород, консистенция от текучепластичной до мягкопластичной;

— суглинок коричневый, иногда с примазками и пятнами серого цвета, отмечаются включения гравия и щебня коренных пород до 5—10 %, консистенция от тугопластичной до мягкопластичной.

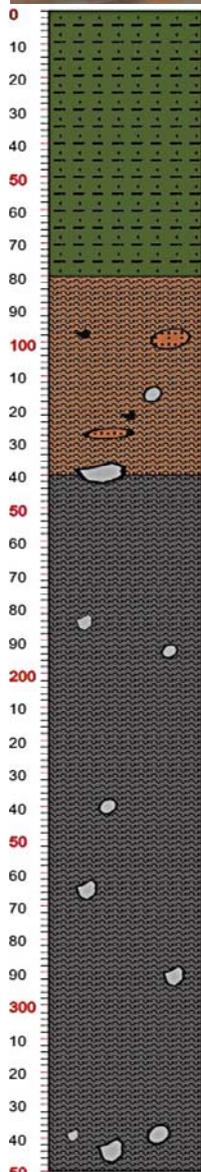
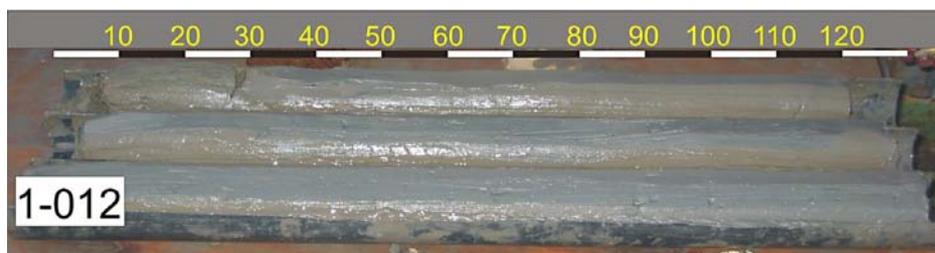
Составленные геологические разрезы вдоль и вкрест (рис. 14, 15) простирания основных геологических структур показывают латеральную и вертикальную изменчивость донных грунтов. Как видно из геологических разрезов, наиболее благоприятным участком для постановки ППБУ является северо-западная часть лицензионного участка «Кольский-1», где вскрыты максимальные мощности «коренных пород».

Донные грунты лицензионного участка Кольский-2.

В пределах лицензионного участка «Кольский-2» в колонках были задокументированы следующие различия донных грунтов (сверху вниз колонки):

— супесь пылеватая (ил супесчаный) серого цвета с зеленоватым оттенком, текучий, с примесью мелкозернистого песка. На поверхности осадка полихеты;

— супесь пылеватая (ил супесчаный) зеленовато-серая, пластичная, с примазками гидротроилита и гнездами песка на контакте с нижележащим слоем, консистенция от пластичной до текучей;



0—0,80 м — ил супесчаный, серо-зелёного цвета, неоднородный, жидкотекучий, с высоким количеством песчаной фракции, содержание которой увеличивается вниз по разрезу.

0,80—1,40 м — ил глинистый серо-коричневый, однородный, жидкотекучий, с включением линз и гнёзд песка, с включениями гидротроилита, редкими включениями гальки и гравия.

1,40 — 3,50 м — ил глинистый, темно-серый, однородный, вязкотекучий до текучепластичного, с высоким содержанием гравия и гальки, также на границе со слоем 2 наблюдаются камни до 5 см в диаметре, содержание гравия и гальки увеличивается вниз по разрезу, в нижней части ил приобретает коричневый цвет.

Физико-механические свойства донных грунтов, определенных в судовых условиях

интервал опробования, м	W, %	плотность, г/см ³	τ max, кПа	τ min, кПа	P_n , кПа
0,6—0,8	65,39	1,58	0,57	0,25	5,65
3,3—3,5	54,47	1,71	1,19	0,48	16,15

Рис. 13. Первичная документация колонок донных грунтов.

Глубина моря — 201 м

Средство пробоотбора — гидростатическая трубка

— песок серый до серо-коричневого цвета, мелкозернистый, иногда с примесью пелитовой фракции;

— ил глинистый коричнево-серый до светло-коричневого с примазками гидротроилита, иногда с гнездами и линзами песка мелкого, консистенция от текучепластичной до мягкопластичной.

Обращает на себя внимание отсутствие в разрезах колонок на лицензионном участке

«Кольский-2» суглинков коричневого цвета, которые повсеместно распространены на лицензионном участке «Кольский-1». Эти отложения не были вскрыты и восьмиметровой трубкой, где в забое отмечается только глинистый ил коричнево-серого цвета.

Составленные геологические разрезы вдоль и вкрест (рис. 16, 17) простираения основных геологических структур показывают латеральную и вертикальную изменчивость донных грунтов.

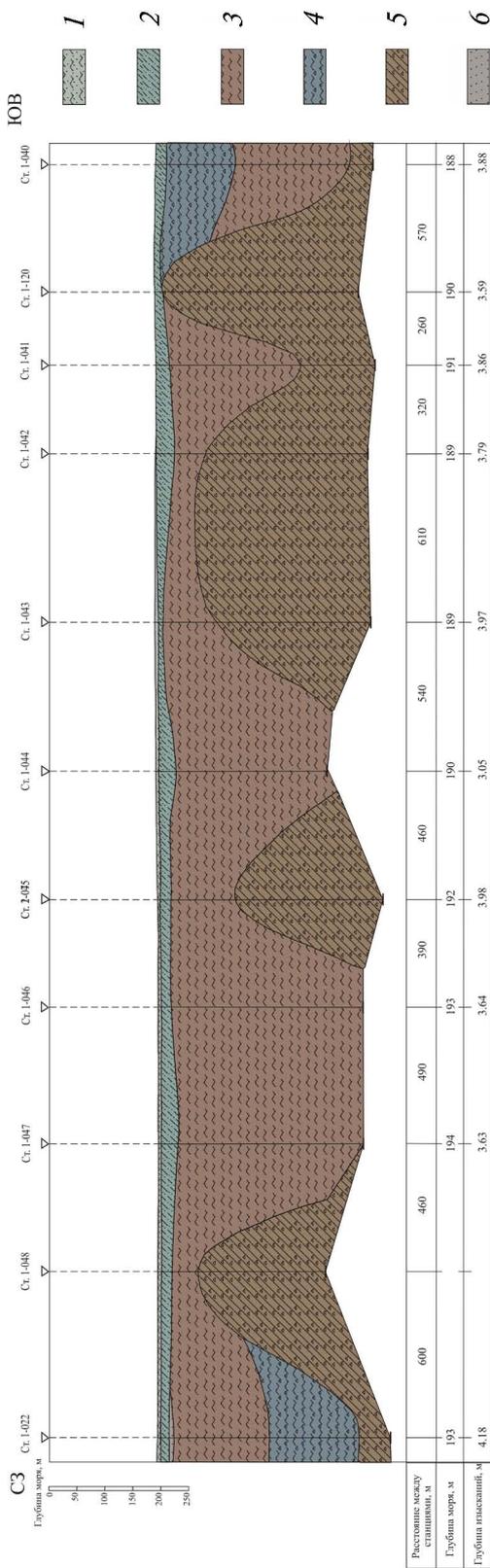


Рис. 14. Геологический разрез по линии ДД, лицензионный участок «Кольский-1».

1 — супесь пылеватая (ил супесчаный) серого цвета с зеленоватым оттенком, текучей консистенции с примесью мелкозернистого песка, на поверхности осадка — полихеты; 2 — супесь пылеватая (ил супесчаный) зеленовато-серая, пластичная, с примазками гидротроилита, иногда с гнездами и линзами песка мелкого, консистенция от текучепластичной до мягко-пластичной; 3 — ил глинистый от серо-коричневого до серого с примазками и стяжениями гидротроилита, иногда с гнездами и линзами песка мелкого и единичными зернами гравия, консистенция от текучепластичной до мягкопластичной; 4 — ил глинистый голубовато-серый с включениями гравия и щебня коренных пород, консистенция от текучепластичной до мягкопластичной; 5 — суглинок коричнево-серый, иногда с примазками и пятнами серого цвета, отмечаются включения гравия и щебня коренных пород до 5–10%, консистенция от тугопластичной до мягкопластичной; 6 — песок серый до серо-коричневого цвета мелкозернистый, иногда с примесью пелитовой фракции.

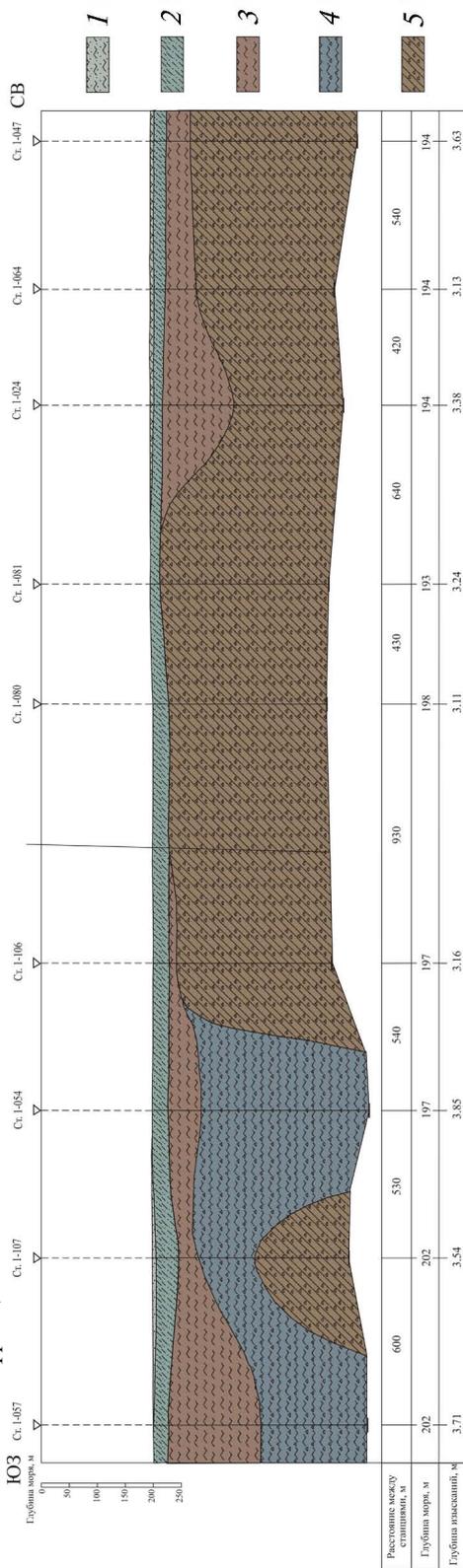


Рис. 15. Геологический разрез по линии ЕЕ, лицензионный участок «Кольский-1».

Условные обозначения см. рис. 14.

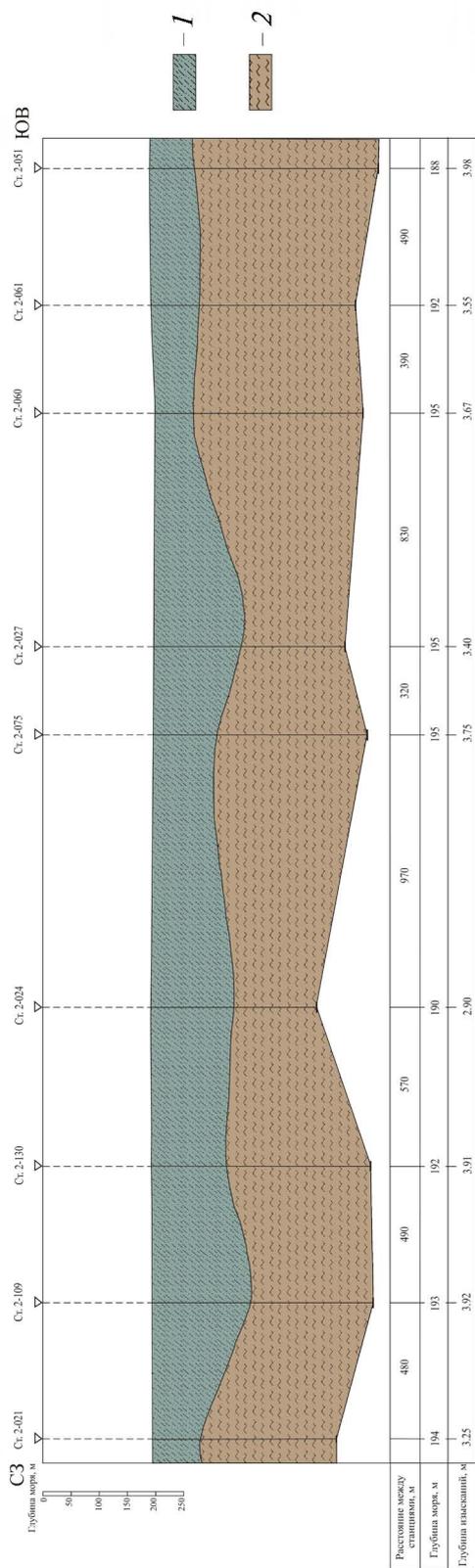


Рис. 16. Геологический разрез по линии ВВ, лицензионный участок «Кольский-2».
Условные обозначения см. рис. 17.

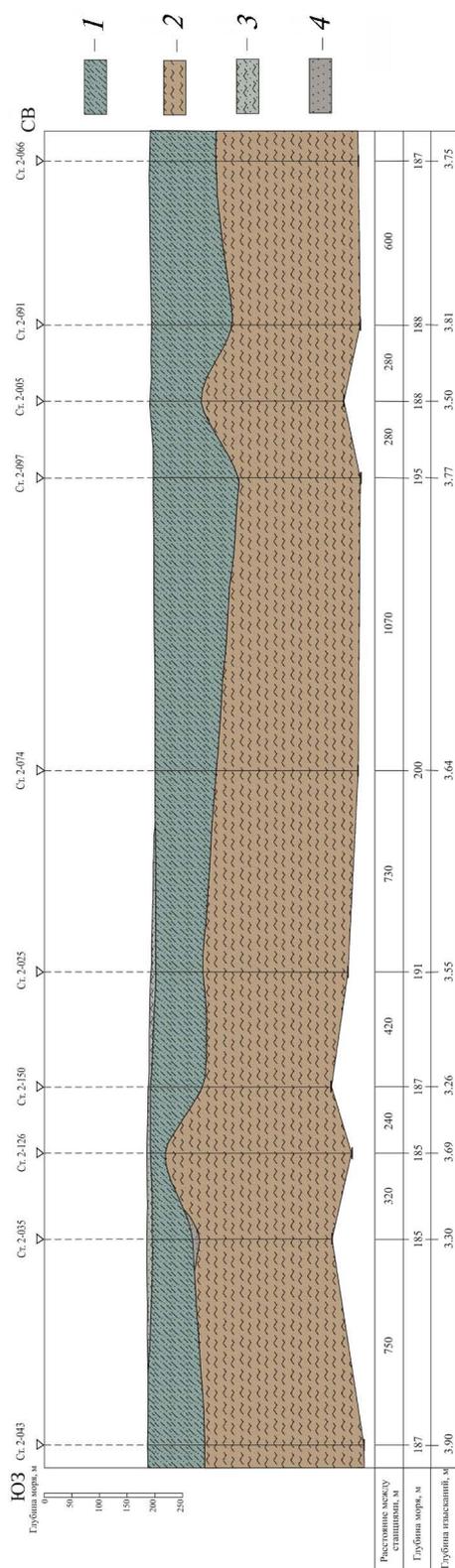


Рис. 17. Геологический разрез по линии ГГ, лицензионный участок «Кольский-2».

1 — супесь пылеватая (ил супесчаный) зеленовато-серая, пластичная, с примазками гидротроилита и гнездами песка на контакте с нижележащим слоем, консистенция от пластичной до текучей; 2 — ил глинистый коричнево-серый до светло-коричневого с примазками гидротроилита, иногда с гнездами и линзами песка мелкого, консистенция от текучепластичной до мягкопластичной; 3 — супесь пылеватая (ил супесчаный) серого цвета с зеленоватым оттенком, текучий, с примесью мелкозернистого песка, на поверхности осадка полихеты; 4 — песок серый до серо-коричневого цвета мелкозернистый, иногда с примесью пелитовой фракции.

Для разрезов характерна выдержанная мощность верхнего слоя, представленного супесчаным пластичным илом зеленовато-серого цвета с примазками гидротроилита, мощность которого достигает 180 см.

Донные грунты лицензионного участка Кольский-3.

В пределах лицензионного участка «Кольский-3» в колонках были задокументированы следующие разности донных грунтов (сверху вниз колонки):

— супесь пылеватая (ил супесчаный) зеленовато-серая, пластичная, с примазками гидротроилита и гнездами песка на контакте с нижележащим слоем, консистенция от пластичной до текучей;

— ил глинистый светло-коричневого цвета с примазками гидротроилита, иногда с гнездами песка мелкого, консистенция от текучепластичной до мягкопластичной;

— песок мелкозернистый серый до серо-коричневого цвета, слабо глинистый, водонасыщенный;

— ил глинистый темно-серого цвета с включениями гравия, щебня и гальки, консистенция от мягкопластичной до тугопластичной.

Для разрезов колонок лицензионного участка Кольский-3 (рис. 18, 19) характерно наличие в нижней части колонок глинистого ила темно-серого цвета с включениями гравия, щебня и гальки, который не был зафиксирован на вышеописанных лицензионных участках. Эта разность донных грунтов наиболее перспективна для постановки ППБУ.

На геологических разрезах (рис. 18, 19) показана латеральная и вертикальная изменчивость донных грунтов. Как видно, наиболее перспективным участком для постановки ППБУ является центральная часть лицензионного участка «Кольский-3», где наблюдаются максимальные мощности илов темно-серого цвета с включением гравия, щебня и гальки и минимальные мощности вышележащего слоя.

Полученные предварительные результаты по инженерно-геологическим изысканиям на концессионных площадях «Кольский-1, 2, 3» позволяют сделать следующие основные выводы.

1. Макрорельеф дна в пределах площадок (5×5 км) лицензионных участков «Кольский-1» и «Кольский-2» сравнительно простой и характеризуется слабым общим наклоном поверхности и небольшими перепадами глубин. Наиболее сложен макрорельеф лицензионного участка «Кольский-3», где имеется существенный перепад глубин и протяженный крутой уступ.

2. Мезорельеф на площадках лицензионных участков «Кольский-1» и «Кольский-3» сходен и представлен реликтовыми бороздами айсбергового выпавивания, сохранность которых свидетельствуют о незначительном изменении его за последние несколько тысяч лет и об отсутствии мощных экзогенных рельефообразующих агентов в данном районе.

3. В сейсмоакустических разрезах лицензионного участка «Кольский-1» выделяется 2 отражающих горизонта, имеющих сплошное распространение. Нижний отражающий горизонт совпадает с региональным несогласием в кровле коренных отложений. Верхний отражающий горизонт коррелируется с кровлей рыхлых четвертичных образований и с подошвой голоценовых осадков. В нескольких местах на профилях ЮЗ-СВ простирания отмечается наличие новейших тектонических нарушений, выраженных в рельефе морского дна. Зон газонасыщенных осадков не обнаружено.

4. Сейсмоакустическим профилированием в пределах площадки лицензионного участка «Кольский-2» выделены такие же два отражающие горизонта — подошва голоценовых осадков (верхний отражающий горизонт) и кровля коренных пород (нижний отражающий горизонт). Кровля коренных образований в пределах лицензионного участка образует субширотный трогообразный прогиб с относительным углублением до 50 м. Мощности плейстоценовых осадков изменяются от 95 до 25 метров, с максимумом в трогообразном прогибе. Мощности голоценовых осадков изменяются в незначительных пределах от 9 до 19 м с максимумом в центральной части участка. Тектонические нарушения в основном представлены сбросами с амплитудами в первые метры и не выходящими непосредственно к поверхности современного морского дна. Южная часть лицензионного участка характеризуется более активным просачиванием газовых флюидов.

5. Сейсмоакустическая структура на площадке лицензионного участка «Кольский-3» наиболее сложная. В сейсмоакустическом разрезе выделены три отражающих горизонта: подошва голоценовых осадков, подошва плотных позднеплейстоценовых осадков и кровля коренных пород. Трогообразный прогиб, расположенный в южной части площадки имеет отчетливый тектонический характер и образован серией сбросов субширотного простирания. Часть сбросов выходит непосредственно к поверхности морского дна и, следовательно, имеют новейший возраст. Вдоль борта трогообразного прогиба наблюдается вытянутая область газонасыщенных осадков

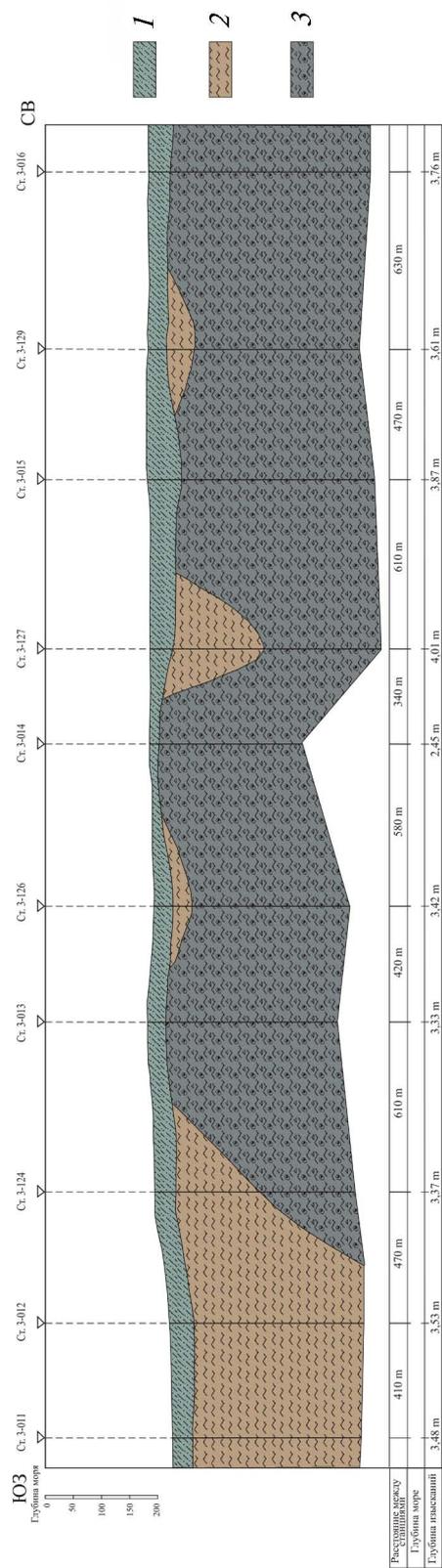


Рис. 18. Геологический разрез по линии АА, лицензионный участок «Кольский-3». Условные обозначения см. на рис. 19.

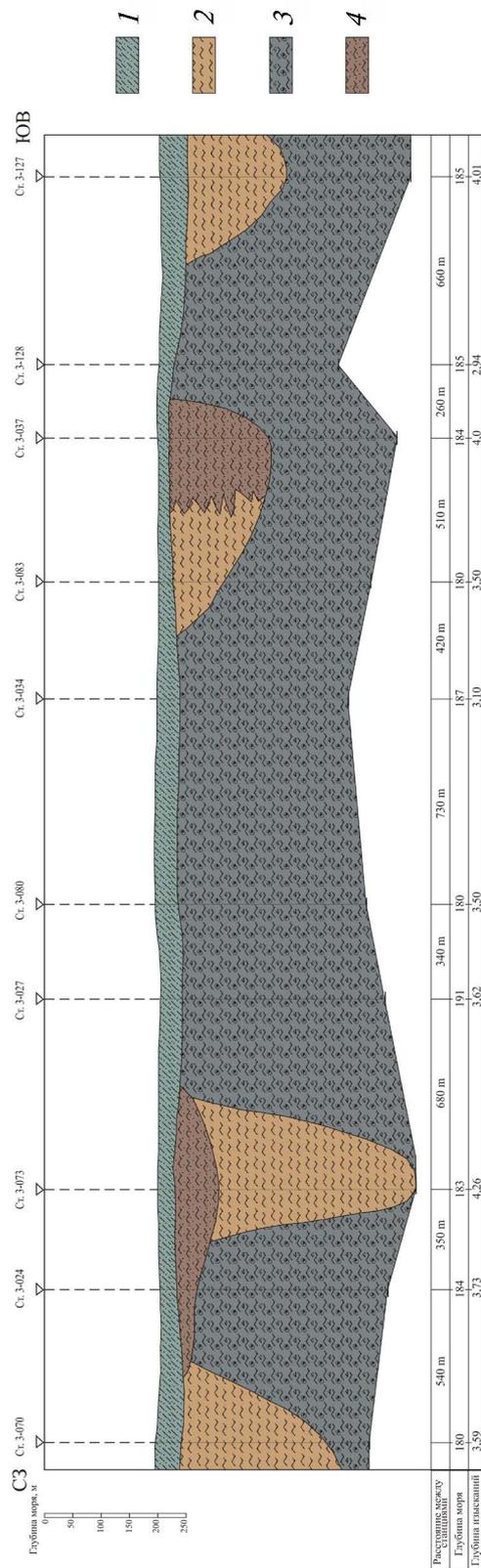


Рис. 19. Геологический разрез по линии ВВ, лицензионный участок «Кольский-3».

1 — супесь пылеватая (ил супесчаный) зеленовато-серая, пластичная, с примазками гидротроилита и гнездами песка на контакте с нижележащим слоем, консистенция от пластичной до текучей; 2 — ил глинистый светло-коричневого цвета с примазками гидротроилита, иногда с гнездами песка мелкого, консистенция от текучепластичной до мягкопластичной; 3 — ил глинистый темно-серого цвета с включениями гравия, щебня и гальки, консистенция от мягкопластичной до тугопластичной; 4 — песок мелкозернистый серый до серо-коричневого цвета, слабо глинистый, водонасыщенный.

шириной до 1200 м. Кровля зоны газонасыщенности часто совпадает с вторым отражающим горизонтом и располагается на поддонных глубинах от 4 до 65 м (преобладающие глубины — от 9 до 16 м). В северо-восточной части площадки обнаружена небольшая (600 × 600 м) зона приповерхностных газонасыщенных осадков, связанная с просачиванием флюидов по системе разломов.

6. По результатам гидромагнитной съемки на площадках лицензионных участков «Кольский-1, 2, 3» техногенных объектов обнаружено не было. Аномалии имеют запад-северо-западное простирание. В пределах площадки лицензионного участка «Кольский-3» структура магнитного поля наименее упорядочена, что может быть вызвано зоной тектонических нарушений.

7. По результатам низкочастотного сейсмоакустического профилирования вскрыта кровля коренных мезо-палеозойских образований на всех площадках лицензионных участков. Мощность четвертичных образований не превышает 90 м. По предварительным данным ГБО техногенные объекты в виде мелких предметов максимального размера до первых метров были обнаружены на площадках лицензионных участков Кольский-1 и Кольский-3.

8. В результате выполненной инженерно-геологической съемки на площадках лицензионных участков «Кольский-1, 2, 3» в верхней части геологического разреза выделено пять инженерно-геологических элементов. При этом максимальное число инженерно-геологических элементов выделено на площадке лицензионного участка «Кольский-3».

9. По предварительным результатам обработки инженерно-геологической съемки на площадках в качестве опасных геологических процессов и явлений в толще донных осадков развиты гравитационные процессы, отражающиеся в формировании неглубоких сплывов и небольшой мощности оползней.

10. По предварительным данным удерживающая сила якорей может быть достаточна при погружении в верхнеплейстоценовые суглинки, подстилающие толщу современных илов. Кровля суглинков (на площадке лицензионных участков «Кольский-1» и «Кольский-3») вскрыта на глубинах от 1,0 до 5 м. Вопрос о якорной стабилизации на полигонах изысканий может быть уточнен после выполнения комплекса испытаний по отобраным монолитам донных грунтов.

Экспедиционные работы на западном побережье полуострова Таймыр (Енисей-2006)

Экспедиционные работы Усть-Енисейского района в 2006 г. проводились на участке Енисейского залива между мысом Дорофеевский и Диксоном с 27 июля по 4 августа. В район Дудинки отряд был доставлен общественным транспортом, откуда дальнейшая транспортировка его к местам проведения работ осуществлялась теплоходом «Федор Наянов». В экспедиции принимали участие сотрудники ВНИИОкеангеология, Института криосферы Земли СО РАН и географического факультета МГУ. Цель работ — изучение геологического и мерзлотного строения опорных разрезов четвертичных отложений Западного Таймыра и оценка динамики берегов.

Район полевых исследований включает участок Енисейского залива между мысами Дорофеевский (71° 23,5' с.ш., 83° в.д.) и Диксон (73° 30' с.ш., 80° 30' в.д.). Работы были сосредоточены на правобережных и левобережных береговых обрывах Енисейского залива. Берега Енисейского залива относятся к тундровой зоне. Административно район входит в Таймырский (Долгано-Ненецкий) автономный округ. Крупным городом района является Норильск, большой промышленный центр. Норильск соединен с Дудинкой, расположенной на Енисее, железной и шоссейной дорогами. В 30 км от Норильска расположен аэропорт Алыкель. Дудинка и Диксон имеют регулярное речное и морское сообщение с Красноярском, а также с Мурманском и Архангельском.

Целью полевых работ являлось комплексное изучение четвертичных отложений Западного Таймыра, слагающих береговые обрывы Енисейского залива. В задачи входил осмотр берегов и поиск перспективных объектов для изучения динамики отступления берегов, в особенности скорости термоабразионных процессов. Четвертичные отложения Енисейского залива в свое время были выбраны в качестве стратотипических разрезов для Российской Арктики. Одной из главных задач было опробование разрезов зы-



Рис. 1. Теплоход «Фёдор Наянов».

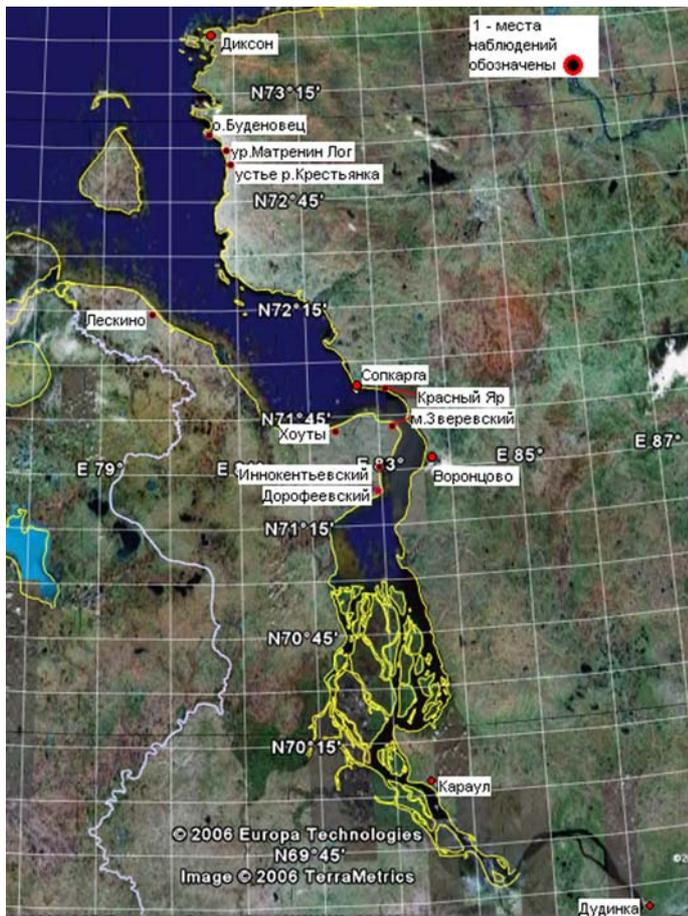
рянских, казанцевских и каргинских отложений методами микропалеонтологическими, абсолютного датирования и гранулометрическими.

Методика проведения исследований. Рекогносцировочный осмотр берегов выполнялся с борта теплохода «Федор Наянов» (Енисейское пароходство) (рис. 1).

Производилось фотографирование берегов Енисея и Енисейского залива цифровой фотокамерой. В местах хорошей обнаженности производились высадки с маршрутами и детальным описанием и опробованием четвертичных разрезов. Береговые обрывы вскрывались расчистками и канавами глубиной 0,5—1 м, после чего производились фотографирование, зарисовка, описание и опробование разреза. Отобраны пробы на определение влажности, содержания органического углерода, химического и гранулометрического состава, а также для выявления комплексов фораминифер и спорово-пыльцевых спектров.

Все точки наблюдения имеют спутниковую привязку (GPS навигатор «GARMIN Etrex Legend»), а также традиционную для полевой геологической документации привязку к известным пунктам местности (населенные пункты, устья рек, мысы, маяки и т. д.).

Особенности судоходства в Енисейском заливе (удаленный от берегов фарватер) не позволяли закартировать типы берегов на всем протяжении, однако можно с уверенностью говорить о наличии обоих типов берегов с точки зрения их динамики — эрозионных и аккумулятивных.



В результате проведения полевых работ осуществлено 8 высадок на берег (рис. 2), в окрестностях которых изучено 19 расчисток и сделано 5 ландшафтных описаний (табл. 1). Отобрано 58 проб грунта, в числе которых образцы льда и ледогрунта из 4 ледовых комплексов. Выявлены места проявления термоабразии берегов в местах высадок в урочище Матренин Лог, устье реки Крестьянка и мыса Иннокентьевский.

Рис. 2. Карта-схема Енисейского залива с обозначенными (1) пунктами наблюдений экспедиции «Енисей 2006».

Таблица 1

Точки наблюдения экспедиции «Енисей-2006»

№ п/п	Расчистка	Широта	Долгота	Абс. высота, м над ур. моря	Географическая привязка
1	1Л06	72°17'916N	79°40'782E	50	Лескино
2	2Л06	72°17'916N	79°40'782E	10—12	То же
3	3Л06	50 м к северу от 2Л06		5	«
4	4Л06	72°18'036N	79°40'544E	4	«
5	5Л06	72°18'094N	79°40'405E	осыпь	«
6	Точка 1	73°8'724N	80°30'602E	6—8	О. Буденовец (ландшафтн. описание)
7	Точка 2	73°8'724N	80°30'602E	34	То же
8	Точка 3	73°8'885N	80°30'061E	60	«
9	Точка 4	73°8'639N	80°30'783E	15	«
10	1М06	72°57'010N	80°52'978E	15	Урочище Матренин Лог
11	3М06	72°57'010N	80°52'978E	40	То же
12	4М06	в 40 м к югу от 3М06		37	«
13	1К06	72°55'075N	80°52'662E	15—20	В р-не устья р. Крестьянка
14	2К06	72°55'430N	80°52'933E	20	То же
15	1КЯ06	71°52'912N	83°05'510E	4-6	Урочище Красный Яр
16	1Зв06	71°39'836N	83°19'089E	20—25	Окрестности м. Зверевский
17	2Зв06	3 км к югу от 1Зв06		6—9	То же
18	1Н06	71°43'578N	82°89'682E	37	В р-не устья р. Нарзой (Хоуты)
19	2Н06	71°43'271N	82°89'974E	60	То же
20	Т.1	71°43'578N	82°89'682E	40	Ландшафтн. описание там же
21	1И06	71°33'323N	83°06'418E	2	Иннокентьевский
22	2И06	71°33'304N	83°06'159E	3—5	То же
23	3И06	71°33'246N	83°05'659E	0,5	«
24	4И06	71°33'235N	83°05'140E	14	«

Геологическое и геокриологическое строение

Разрезы плиоцен-четвертичных (?) и среднеплейстоценовых санчуговских (салехардских) отложений изучены в обнажениях Красный Яр (71,88° с.ш. / 83,06° в.д.), мыс Шайтанский (72,09° с.ш. / 82,29° в.д.) и на Гыданском побережье в районе мыса Лескино (72,18° с.ш. / 79, 41° в.д.).

В обнажении Красный Яр высотой до 35 м рыхлые четвертичные отложения слагают южное крыло антиклинальной структуры, в ядре которой выходят верхнемеловые пески, песчаники, реже известняки-ракушечники. По составу преобладают тяжелые темно-серые суглинки или глины, часто сильно ожелезненные по трещинам, с углистыми включениями, валунами, галькой и с тонкими прослоями или карманами светло-серого песка (рис. 3). Встречаются тонкостенные раковины двустворок хорошей сохранности, белого цвета с перламутром, легко разрушающиеся при прикосновении. Слои залегают субгоризонтально. Породы в стенке берегового обрыва покрыты соляной коркой, свидетельствующей об изначально высокой степени засоления отложений и интенсивной миграции солей к дневной поверхности при оттаивании пород. Степень засоления составляет около 1,0%. Преобладает сульфатный тип засоления (ионов сульфатов больше ионов хлора). Преимущественно сульфатное засоление глинистых отложений имеет вторичную природу и связано с процессами окисления в слое оттаивания.

Отложения мерзлые, промерзали по эпикриогенному типу, руководящая криогенная текстура — массивная, редко неполносетчатая. Характер засоления и криогенная текстура свидетельствуют о частичном протаивании толщи во время голоценового оптимума и ее последующем новом промерзании.

В обнажении м. Шайтанский высотой около 80 м среднеплейстоценовые санчуговские отложения представлены преимущественно темно-серыми супесями с тонкими прослоями песков и суглинков. Содержат большое количество валунного и галечни-

кового материала. Слои залегают субгоризонтально. Засолены, состав солей — хлоридно-натриевый (морской тип засоления). Содержание воднорастворимых солей составляет около 0,4%.

Отложения мерзлые, промерзали по эпикриогенному типу, руководящая криогенная текстура — массивная, реже горизонтально слоистая или неполносетчатая. Основываясь на составе солей и характере криогенного строения, можно утверждать, что здесь толща четвертичных отложений не протаивала во время голоценового оптимума и сохранила исходное эпикриогенное строение.

У бывшей полярной станции Лескино был задокументирован разрез неоген-четвертичных отложений с неотектоническими деформациями —



Рис. 3. Общий вид обнажения Красный Яр.



Рис. 4. Складчатые дислокации в суглинках, мыс Лескино, Гыданское побережье.

складками, наклонным залеганием пластов, разрывами (рис. 4). Толща суглинков, участвующих в складчатых структурах, не соответствует ни одному из ранее выделявшихся здесь четвертичных горизонтов, хотя при геологической съемке в 50-х годах (Троицкий, 1966) была включена в состав санчуговской свиты, а в 1977—1981 гг. отнесена к салехардской свите и казанцевскому горизонту (Сергиенко и Биджиев, 1983). Ее полевое изучение выполнялось также в 80-х годах (Каплянская и Тарноградский, 1986). Эти исследователи отнесли толщу суглинков предположительно к плиоцену — началу плейстоцена. Прямо намагниченные породы лескинской толщи относятся по времени к эпизоду Олдувей или эпохе Гаусс.

Отложения засолены, состав солей — хлоридно-натриевый (морской тип засоления). Содержание вводно-растворимых солей составляет около 0,5 — 1,0%.

Отложения мерзлые, промерзали по эпикриогенному типу, руководящая криогенная текстура супесей — массивная. В глинистых прослоях криогенная текстура линзовидная и неполносетчатая, в песках — массивная. Можно утверждать, что здесь толща четвертичных отложений также не протаивала во время голоценового оптимума и сохранила исходное эпикриогенное строение.

Сравнение состава отложений, засоленности и характера криогенного строения позволяет установить границу протаивания мерзлоты во время голоценового оптимума. Очевидно, на Западном Таймыре она проходит несколько южнее Сопочной Карги.

Разрезы верхнеплейстоценовых отложений изучены в обнажениях вблизи Сопочной Карги (71, 88° с.ш. / 82, 68° в.д.), ур. Матренин Лог (72,57° с.ш. / 80,53° в.д.), у устья р. Крестьянка (72,55° с.ш. / 80,53° в.д., рис. 5).

Разрез СК-5 в обнажении Сопочной Карги высотой до 15 м представлен тремя толщами (рис. 6). Сверху до глубины 6,2 м залегают супеси буровато-серые с сизым оттенком, с корешками растений, оторфованные, слоистые, с пятнами и затеками ожелезнения. Отложения не засолены. Мерзлые, криотекстура поясковая, ритмичная. Между поясками криотекстура микрошлировая сетчатая, а также микролинзовидная частослоистая. В супесях присутствуют повторно-жильные льды (ПЖЛ), ширина которых поверху составляет около 2 м.

Супеши подстилаются толщей разнозернистых горизонтально и косослоистых песков до глубины 8,5 м, мерзлых. Криотекстура массивная.



Рис. 5. Пример описания обнажения в районе устья р. Крестьянка.



Рис. 6. Обнажение отложений ледового комплекса, Сопочная Карга.

Далее до подножья берегового уступа залегают темно-серые, иногда бурые глины, засоленные. Состав солей — хлоридно-натриевый, содержание до 0,5%. Осадки мерзлые. Преобладает сетчатая хаотичная криотекстура. Глинистый горизонт пронизан эпигенетическими ПЖЛ, ширина которых на контакте с вышележащими песками достигает 1,5—2 м, а на уровне пляжа составляет 0,3—0,4 м. Повторно-жильные льды по отношению к верхним толщам являются сингенетическими, по отношению к глинам — эпигенетическими. По генезису верхняя супесчаная толща относится к фациям обширной заозеренной поймы, где ветровые волны на мелководье создают дополнительный фактор сортировки частиц по крупности и плотности. Пески представляют собой типичные аллювиальные отложения низовьев крупной реки. Глины, залегающие в основании разреза, относятся к казанцевским, сформировавшимся в условиях осаждения частиц в море ниже уровня волновой сортировки, там, где накапливаются самые мелкие глинистые частицы.

Очень интересный разрез, сочетающий в себе разновозрастные и генетически отличающиеся толщи верхнеплейстоценово-голоценовых отложений изучен в районе ур. Матренин Лог. В основании берегового обрыва залегают сизые глины, плотные, влажные тугопластичные. Текстура глин — плохо выраженная комковатая, иногда призматическая или плитчатая. Криотекстура массивная, видимого льда нет. Видимая мощность слоя составляет около 3,5 м. По генезису глины относятся к типично морским.

Выше залегают песчаный горизонт, представленный чередованием горизонтально и ко-

сослоистых прослоев песков разной зернистости. Пески мерзлые, криотекстура массивная. Мощность песчаного горизонта составляет 4,5 м. По заключению А.В. Суркова, разнозернистые пески сформировались в условиях подводной части дельты крупной реки, обращенной к открытой части морского бассейна со свалом глубин и вдольбереговыми течениями и волновым действием на дно.

Далее, вверх по разрезу песчаная толща перекрывается бурыми глинами с отдельными прослоями серой глины, тяжелой, тугопластичной. Текстура в массиве плитчато-призматическая. Глины мерзлые, криотекстура массивная, видимого льда не обнаружено. Плитчато-призматическая текстура возможно сформировалась как посткриогенная. Мощность толщи глин примерно 8 м. В верхней части глинистой толщи встречаются прослои супесей и иногда даже песков. Вероятнее всего, толща сформировалась в условиях перемива морских отложений с выносом на пляж осадков морского мелководья при короткой трансгрессии моря.

Наконец, с поверхности до эрозионного контакта с глинами залегают высокольдистые супеси «ледового комплекса» с мощными повторно-жильными льдами. В разрезе ур. Матренин Лог мощность ледового комплекса составляет около 7—7,5 м (рис. 7).

Ледовый комплекс представляет собой уникальное природное образование, точный генезис которого не установлен. К настоящему времени большинство исследователей считает ледовый комплекс верхнеплейстоценовым полигенетическим континентальным образованием, в котором основная роль принадлежит эоловым, аллювиальным, делювиальным и солифлюкционным отложениям. Ледовый комплекс Западного Таймыра исследован впервые. Помимо ур. Матренин Лог, отложения ледового комплекса изучены также в районе Сопочной Карги и устья р. Крестьянки. Отдельные фрагменты разрезов отложений ледового комплекса изучены и в некоторых других обнажениях побережья Западного Таймыра.

Выполненные исследования позволяют определить некоторые основные особенности распространения и строения отложений ледового комплекса Западного Таймыра, отличающие его от ледового комплекса Якутии и Чукотки:

- ♦ залегают плащеобразно вблизи водоразделов и примыкающих частей склонов;



Рис. 7. Обнажение отложений ледового комплекса, Матренин Лог.

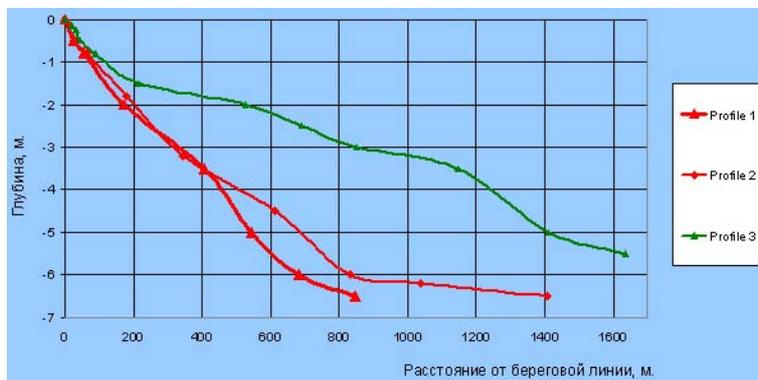


Рис. 8. Профили подводного склона термоабразионного и аккумулятивного берега.

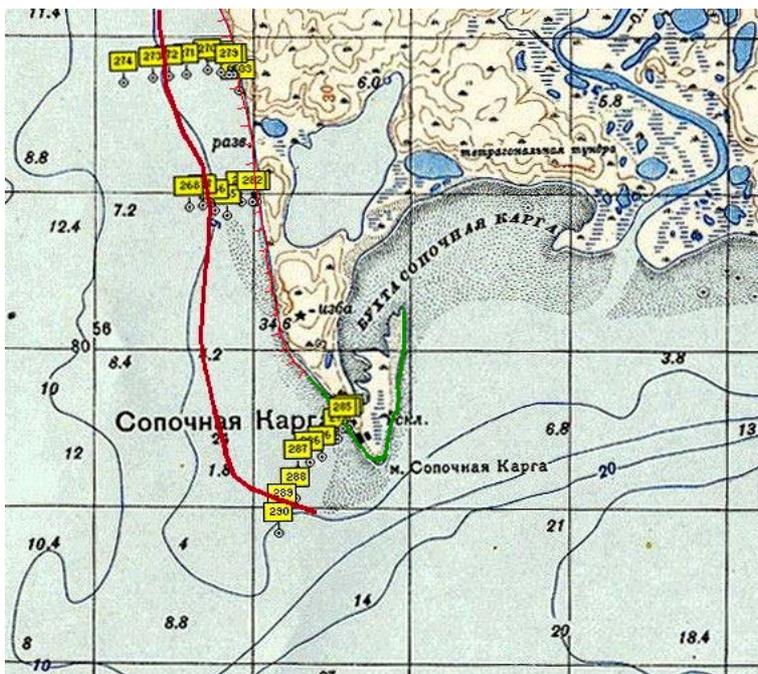


Рис. 9. Динамические типы берега и граница песчаных и галечниковых донных отложений, Сопочная Карга.

- ◆ мощность отложений не превышает 12 м;
- ◆ включает менее мощные одноярусные повторно-жильные льды шириной поверху до 3 м;
- ◆ в криогенном строении существенно большая роль принадлежит сетчатым и неполно сетчатым криогенным текстурам;
- ◆ отложения ледового комплекса завершают разрез четвертичных верхнеплейстоценовых отложений Западного Таймыра и являются одновозрастными с маломощной мореной последнего оледенения. Это подтверждает крайне ограниченный характер сартанского оледенения на Таймыре;
- ◆ побережье Западного Таймыра представляет собой, вероятно, самую западную область распространения специфичных отложений ледового комплекса.

Динамика морских берегов

Одновременно с изучением геологического строения проведены исследования динамики морских берегов Западного Таймыра. В районе Сопочной Карги в 2005 г. с борта катера проведены измерения профилей подводного склона и состава донных отложений на термоабразионном (профили 1 и 2) и аккумулятивном (профиль 3) участках берега (рис. 8). Профили подводного склона, примыкающего к термоабразионному участку берега, имеют вогнутую форму. Изобата 5 м расположена на расстоянии около 600 м от берега. Профиль подводного склона от аккумулятивного берега выпуклый, изобата 5 м расположена на расстоянии 1400 м. Во всех случаях от уреза воды до глубины примерно 5 м донные отложения представлены мелкозернистыми песками, на больших глубинах дно выстлано галечниковым материалом. Граница между песками и галечниками (толстая красная линия) в целом повторяет ход изобаты 5 м (рис. 9). Тонкой красной линией с бергштрихами отмечен термоабразионный



Рис. 10. Сегментация побережья Западного Таймыра на однородные в динамическом отношении участки.

участок берега, зеленой линией — аккумулятивный берег.

Сплошное обследование берегов с борта судна и высадки на берег с описанием геологического строения, типа берега, процессов, развивающихся на берегах, позволили составить схему сегментации побережья Западного Таймыра от Диксона до Сопочной Карги на однородные в динамическом отношении участки (рис. 10). Всего выделено шесть сегментов, нумерация которых соответствует Международной классификации динамических типов морских берегов Арктики (ACD classification). Характеристики участков и динамические типы берегов приведены в таблице 2.

Таким образом, результаты комплексных экспедиционных исследований 2006 г. позволили детально охарактеризовать состав и криогенное строение основных стратиграфических типов четвертичных отложений Западного Таймыра и условия их формирования. Впервые в данном регионе описаны особенности геокриологического строения специфических отложений ледового комплекса, установлена западная граница его распространения. Выявлены различия в профилях подводного склона аккумулятивных и термоабразионных берегов. Берега Западного Таймыра типизированы по динамическим признакам, организованы наблюдения за динамикой берегов.

В 45 из числа отобранных проб планируется выявить флористическо-фаунистический фациальный комплекс с помощью спорово-пыльцевого и диатомово-фораминиферового анализа с целью дальнейшей реконструкции палеостановок плейстоцена—голоцена для данного района.

Таблица 2

Динамические типы морских берегов Западного Таймыра

№ участка	Абсолютные отметки, м.	Состав пород	Льдистость, %	Динамический тип
3189	15	Скальные породы	до 5	Абразионный
3190	10	Скальные породы, в понижениях супеси	до 20	Стабильный, редко абразионный
3191	20—30	Суглинки с валунно-галечниковым материалом	20—30	Стабильный, термоабразионный
3192	до 10	Суглинки, пески, галечники	30—40	Аккумулятивный, реже стабильный
3193	20—40 (м. Шайтанский — до 80м.)	Суглинки с ПЖЛ, пески	20—30	Сочетание термоабразионного и стабильного
3194	5	Пески, супеси	20	Аккумулятивный

Дополнительно проводились наблюдения дочетвертичных пород фанерозоя — в верхнемеловых отложениях в обнажении на Красном Яру и в неопределимых отложениях верхнего палеозоя на мысе Макарьевском. Определялся характер взаимоотношений с вышележащими четвертичными породами, а также палеоэкологические и микрофациальные условия во время отложения данных пород.

В урочище Красный Яр на правом берегу Енисея находится обнажение меловых пород, состоящее из не менее шести последовательных выходов, разделенными оврагами, располагающимися перпендикулярно берегу (рис. 11). Обнажающаяся толща пород в основном состоит из железистых песчаников с пропластками глин. В верхней части описываемого разреза обнажаются аргиллитовые песчаники с двустворками, иноцерамами и бухиями, имеющими верхнемеловой возраст и составляющими т. н. «иноцерамовые слои» р. Енисей (Бодылевский, 1958). Там же, предположительно, наблюдались следы конседиментационных подвижек в осадках и внутриформационное переотложение небольших блоков железистых известняков.

Другое обнажение, находящимся на мысе Макарьевском, было представлено терригенной толщей с неопределимыми до рода остатками верхнепалеозойской, частично углефицированной древесины. В данном обнажении наблюдалась кварцевая жила, секущая обнажающиеся породы под углом 90°.

Анализировался состав терригенной компоненты на современных пляжах, там найдены небольшие по размерам окатанные экземпляры ожелезненной мезозойской древесины, а также крупные блоки пермской древесины в песчанике (рис. 12).

Список литературы

Бодылевский В.И. , Шульгина Н.И. Юрские и меловые фауны низовьев Енисея. М., Гостеолтехиздат, 1958. 196 с.



Рис. 11. Панорама обнажений меловых отложений в урочище Красный Яр (правый берег Енисея).



Рис. 12. Терригенная компонента современных пляжей.

Большая часть палеонтологических находок среднего и крупного размера, в том числе крупный фрагмент ствола захороненного дерева были найдены в береговом обнажении.

Экспедиционные исследования на побережье Югорского полуострова

Экспедиционные работы проводились на побережье Югорского полуострова в районе пос. Амдерма сотрудниками института криосферы Земли РАН и ФГУП «ВНИИОкеангеология».

Основной задачей являлось продолжение мониторинга отступающих берегов в связи с динамикой факторов окружающей среды, включая климатические и криолитологические.

Климатические факторы включают суммы летних температур воздуха, а также направление и скорость ветра в безледный период. К криолитологическим относится характер залегания и мощность подземного пластового льда.

Летом 2006 г. наблюдались уникально сильные нагоны и волновой накат, что сопровождалось значительным усилением термоабразии. Это связано со специфическим сочетанием климатических факторов. При постепенном увеличении продолжительности безледного периода (рис. 1) летом 2006 г. наблюдались наиболее продолжительные и сильные ветры северных румбов, чего ранее не наблюдалось.

Такие условия привели к формированию глубоких волноприбойных ниш (рис. 2) и вскрытию пластового льда нижнего яруса (рис. 3).

Скорости отступления разрушающихся берегов измерялись по профилям, разбитым перпендикулярно бровке уступа, а также с помощью съемки лазерным теодолитом и GPS-приемником, соответственно, бровки уступа (термоцирка) и береговой линии. Съемка и измерения велись на двух ключевых участках: «Шпиндлер» примерно в 40 км и «Первая Песчаная» в 7–8 км восточнее пос. Амдерма (рис. 4). Результаты приведены на рис. 5.

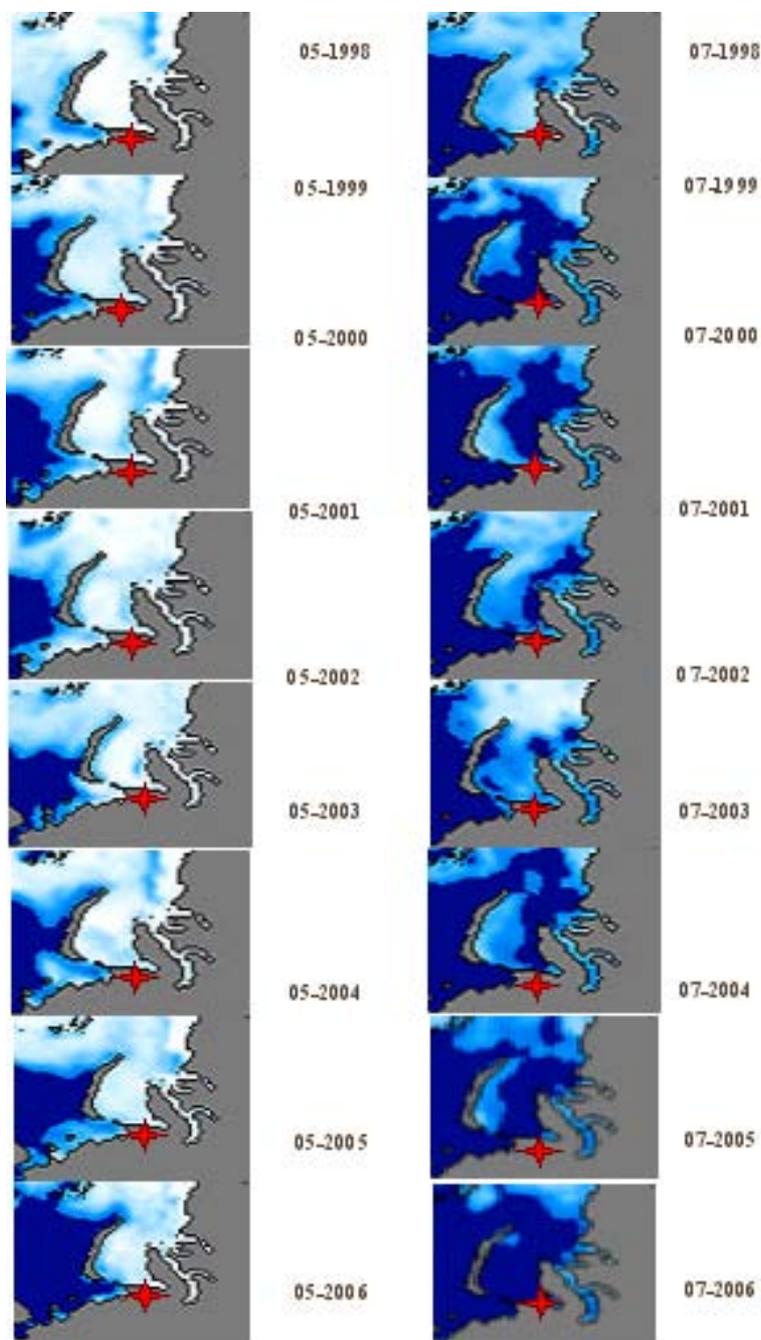


Рис. 1. Ледовитость Карского моря за разные годы (F. Fetterer and K. Knowles. 2002, updated 2006. Sea ice index. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center. Digital media, www.nsidc.org).



Рис. 2. Волноприбойная ниша в основании мерзлого уступа, образовавшаяся в результате волнового наката весной—летом 2006 г.



Рис. 3. Обнажение пластового льда в основании уступа, вскрывшееся в результате волнового наката весной—летом 2006 г.



Рис. 4. Расположение ключевых участков на побережье Югорского побережья в южной части Карского моря.

Выводы

Исследуемая территория характеризуется широким распространением пластового подземного льда. В связи с этим значительная часть побережья относится к термоденудационному типу, представленному термоцирками и термотеррасами. Поэтому в обычные годы скорость процесса определяется суммами летних температур воздуха и наибольшие скорости наблюдаются на термоденудационных и термоденудационно-термоабразионных берегах в верхней части уступа.

Редко наблюдавшиеся (впервые с 1998 г.) сильные ветры северных румбов формируют накат на берег Югорского полуострова, имеющий в целом северную экспозицию. В результате практически вдоль всей 40-километровой береговой линии ключевого участка в 2006 г. наблюдалась активизация термоабразии, на всем протяжении обнажился нижний пласт льда, в котором выработалась глубокая волноприбойная ниша. Объем материала, выносимого в береговую зону оползнями и грязевыми потоками, впервые оказался значительно ниже выносимого в результате термоабразии (осыпи и обвалы мерзлых блоков).

При планировании объектов строительства в береговой зоне (например, трубопровода через Байдарскую губу в направлении Югорского полуострова) необходимо учитывать редкие, но чрезвычайно деструктивные события, связанные с климатическими изменениями, которым обычно не придается существенного значения по сравнению с прогнозируемым потеплением.

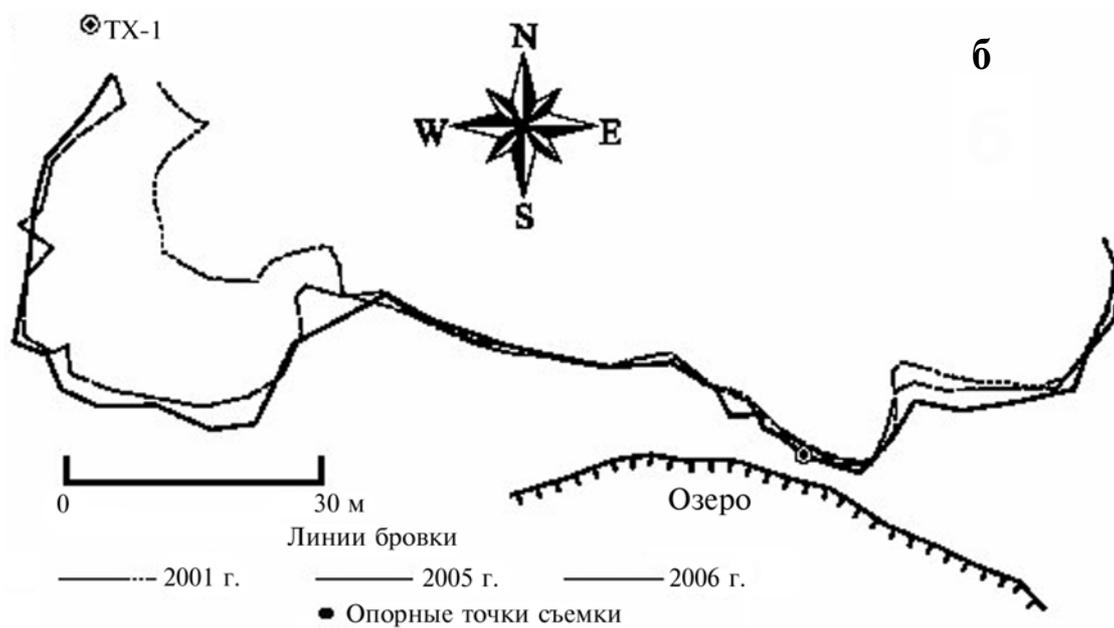


Рис. 5. Результаты тахеометрической съемки на ключевых участках «Первая Песчаная» (а) и «Шпидлер» (б). Показано отступление бровки термоцирков за разные годы.

Поиски остаточных, вторичных и рассеянных залежей углеводородов на примере нефтяного месторождения Да Чин (КНР)*

Поиски и разведка месторождений углеводородов является задачей трудной и, главное, дорогостоящей. Поэтому разработка оперативных и дешевых способов обнаружения месторождений нефти и газа является актуальной задачей. Среди таких методов в 80-е годы в России были разработаны различные способы «прямых» методов поиска нефти и газа с помощью электроразведки, магниторазведки, гравиразведки, сейсморазведки и др. Многие из них позволили существенно снизить затраты на разведку месторождений.

В 2005—2006 гг. сотрудники Лаборатории многоуровневого геофизического мониторинга ФГУП «ВНИИОкеангеология» были приглашены китайской нефтяной компанией г. Да Чин на нефтяное месторождение в провинции Хайлудзян для оценки возможности прямых поисков оставшихся после отработки месторождения залежей.

На профиле длиной 750 м, на котором было расположено три действующих и несколько законсервированных (и/или отработанных) скважин, проводились краткосрочные акустические наблюдения. Нефтяная залежь представляла собой десятки «тонких» пластов с водой и нефтью, расположенных на глубинах от 900 до 1200 м.

В последние годы широко начали использоваться методы акустической разведки в скважинах и на поверхности земли с вибросейсмическим воздействием. Однако применение мощного вибросейсмического воздействия тоже связано с большими затратами и нарушением технологии добычи во время экспериментов на месторождениях. Поэтому авторами была сделана попытка в качестве источников использовать сейсмические шумы природного и техногенного происхож-

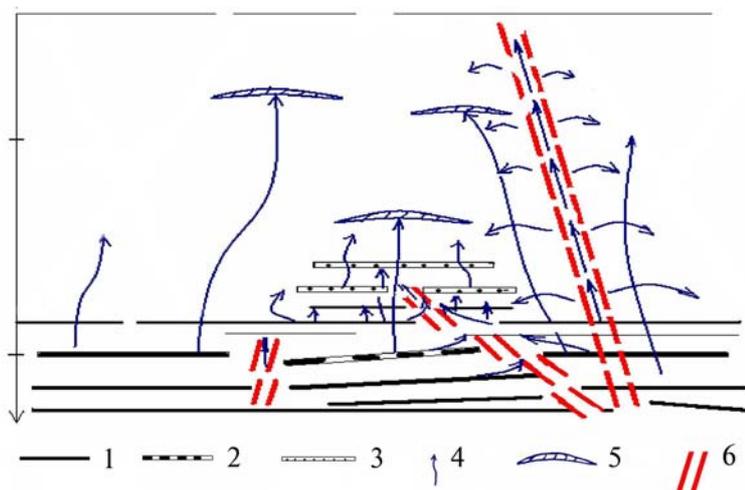


Рис. 1. Геодинамическая модель залежи углеводородов на ограниченном участке месторождения Да Чин (КНР, 2005 г.). 1 — нефть; 2 — вода и нефть, 3 — газ, 4 — миграция летучих соединений (C_1 , H_2 , H_2S и др.) и жидкой нефти (нефть, вода и др.), 5 — зона вторичного минералообразования, в т.ч. магнитных и немагнитных минералов, 6 — тектонические нарушения.

дения, в том числе микроземлетрясения, слабые землетрясения и др.

Во время камеральной обработки данных по акустической эмиссии было обнаружено, что наблюдаемые данные содержат информацию о залежи углеводородов, слабой тектонике и вторичных изменениях пород над залежью. В связи с этим, возник вопрос о модели залежи углеводородов, так как только при заданной модели залежи можно будет поставить задачу ее поисков. В результате была создана модель залежи (рис. 1). После этого возникла необходимость проведения дополнительных полевых работ с целью оценки необходимого комплекса геофизических методов для поиска остаточных залежей. Комплекс методов состоял из сейсмоакустики, магниторазведки и электроразведки.

Задача поиска залежей по геофизическим аномалиям сводилась к обнаружению аномалий заданной формы и/или интенсивности по одному или комплексу методов. Аномалии заданной формы типа «залежь» могут быть теоретическими, экспериментальными или смешанными. Последние являются наиболее эффективными.

При построении модели части залежи авторы исходили из того, что на месторождении су-

* Работа выполнена в рамках Российско-Китайского договора о сотрудничестве.

ществуют слабые тектонические нарушения, которые не только нарушают залежь (нефтеносные пласты), но и создают вертикальные и/или наклонные каналы интенсивной миграции газа, нефти и других элементов. Кроме того, слабая трещиноватость пластов залежи и пластов «покрышек» создают условия для слабой, но действующей уже в течение длительного периода времени миграции летучих и текучих компонент залежи (рис. 1).

Миграция компонент залежи C_1H_4 , H_2S , легкой нефти и ее продуктов воздействуют на вышележащие толщи и приводят к образованию вторичных залежей углеводородов, которые при определенных условиях могут представлять промышленный интерес. Каждая из таких вторичных локальных залежей имеет собственные поля и они могут быть обнаружены быстрее, чем основная залежь. Кроме того, вертикальное перемещение продуктов залежи приводит к образованию зональности (вертикальной в разрезе и «кольцевой» в плане), которая может служить поисковым признаком. Учитывая тот факт, что вертикальная и кольцеобразная (над антиклинальными структурами) зональности позволяют наблюдать косвенные признаки залежи вблизи поверхности земли, это создает предпосылки применения косвенных методов поиска остаточных и вторичных залежей.

Под действием углеводородов и других продуктов залежи в верхних содержащих железистые соединения слоях образуются магнитные минералы, которые могут создавать магнитные тела. Одновременно в других местах может происходить уменьшение намагниченности. Такие изменения приводят к характерным магнитным полям, по которым в плане могут быть обнаружены залежи.

Таким образом, залежь, вторичное минералообразование и др. процессы позволяют вести поиски месторождений углеводородов по сейсмическим, акустическим, магнитным, электромагнитным полям и соответствующим их аномалиям.

Практически все акустические методы основаны на изучении собственных частот механических колебаний объектов исследования, которые проявляются в результате вибросейсмического воздействия на залежь, пласт или другие части месторождения. Однако надеяться на то, что в результате воздействия мы получим какие-то определенные частоты колебания залежи, можно только для идеальных залежей и однородных вмещающих пород. Настолько идеальных, что встретить их в природе практически невозможно.

На примере исследуемого месторождения, где в разрезах присутствует до нескольких десятков «тонких» пластов с водой и нефтью, видно, что исследования представленных ниже спектров шумов акустической эмиссии это подтверждают.

Рассмотрим этот вопрос исходя из следующих теоретических предположений.

Наиболее простой моделью пористой среды является среда, состоящая из пор «ловушечного типа». Такие поры имеют один канал, частично заполненный водой, соединенный с воздушной полостью. Такие поры эквивалентны резонатору Гельмгольца с абсолютно жесткими стенками.

Собственные частоты таких пор даются формулой (Руденко О.В., Солуян С.И. Теоретические основы нелинейной акустики. М., Наука, 1975г.).

$$f = \frac{c_0}{2\pi l} \sqrt{\frac{\rho_0 V_1}{\rho_1 V_0}}, \quad (1)$$

где c_0 — скорость звука в газе (330 м/с), ρ_0 — плотность газа (воздуха), ρ_1 — плотность жидкости, V_0 — объем газа, V_1 — объем жидкости, l — длина канала, заполненного жидкостью (м).

В таблице приведены результаты расчета по формуле (1) для следующих значений параметров:

$$\frac{\rho_0}{\rho_1} \approx 10^{-3}; \quad \frac{V_1}{V_0} = 0,01; 0,1; 1; 10; \quad l = 0,01; 0,1; 1 \text{ (м)}, \quad \frac{c_0}{2\pi} = 47,77.$$

$l / \frac{c_0}{2\pi}$	0,01	0,1	1	10
0,01	15,1	47,77	150,1	477,7
0,1	1,51	4,777	15,1	47,77
1	0,151	0,4777	1,51	4,777

Анализ таблицы показывает, что пористые среды имеют собственные частоты в достаточно широком диапазоне. Поэтому, в зависимости от соотношения параметров и характеристик залежи, можно ожидать различные собственные их частоты: от долей Гц и до сотен Гц. Решить обратную задачу в этом случае для данного месторождения почти невозможно. Во всяком случае, это нельзя сделать в настоящее время.

Рассматривая экспериментальные спектры акустической эмиссии, можно лишь сказать, что на профиле наблюдаются различные частоты, и, если исходить из представленной выше таблицы, то это может означать, что в исследуемом разрезе присутствует неоднородная залежь. Но с таким же успехом можно сказать, что это определено не залежью или не только залежью, а еще и неоднородным разрезом пород, расположенных выше

залежи. Поэтому, поиски собственных частот месторождения — задача пока бесперспективная.

Другая задача, из области акустических исследований, заключается в исследовании разрабатываемых в настоящее время месторождений с целью уточнения положения залежи. Для этого рассмотрим воздействие акустической энергии на пористую, частично насыщенную водой, жидкими и газообразными углеводородами, среду в связи со следующими положениями.

В принятой нами модели воздействия акустическая энергия влияет на миграцию и аккумуляцию углеводородов, а колебания многофазной среды: порода—вода—нефть—газ — приводит к резкому изменению свойств среды.

В связи с этим, представляет интерес картирование мощных потоков акустической энергии как во время активизации тектонических и сейсмических процессов, так и повседневно — потоков акустической эмиссии. Благодаря многовековым воздействиям этих потоков на флюидо-содержащую среду происходит направленное и избирательное перемещение углеводородов.

Современная структура залежи углеводородов известна по данным бурения в некоторых (возможно даже в большом количестве точек) местах. И в этой структуре отражено вибрационное перемещение углеводородов. Однако закономерности этого перемещения не учитывались при построении структуры и планового положения залежи.

Таким образом, задача уточнения залежи на этапе разработки месторождения в тектонически активных областях сводится к картированию потоков энергопереноса для оценки (и/или уточнения) реальных контуров залежи. Для решения этой задачи требуется выполнить картирование потоков акустической эмиссии в районе месторождения по реальным наблюдениям акустической эмиссии, суточному мониторингу акустической эмиссии и структурным характеристикам района исследования. Основной задачей при этом является поиск слабых тектонических нарушений как вероятных путей переноса углеводородов.

По результатам наблюдений выполнена предварительная полевая обработка, из которой можно сделать следующие выводы.

Во-первых, на месторождении наблюдаются слабые тектонические нарушения, которые нарушают нефтеносные пласты, в том числе смещают их по глубине; для тонких пластов это может привести к нарушению (обычно уменьшению) нефтеотдачи.

Поэтому при бурении промысловых скважин необходимо выбирать такие места, которые находились бы между нарушениями. А блоки,

которые ограничены с двух сторон нарушениями, должны разбуриваться независимо от сети скважин.

Кроме того, тектонические нарушения могут служить зонами мощной миграции углеводородов вверх. В остальных местах миграция углеводородов, сернистых соединений и продуктов залежи происходит по микротрещинам. В результате над залежью образуются вторичные минералы, залежь и др.

Во-вторых, в результате обработки акустической эмиссии были обнаружены признаки наличия залежи и вторичных изменений над залежью. Кроме того, на профиле отмечены разрывы нефтесодержащих пластов.

В результате предварительной обработки получены некоторые признаки, свидетельствующие о возможности картирования залежи по площади, выявлении вторичных залежей по горизонтали, которое происходит благодаря воздействию многовековых потоков акустической энергии и соответствующего вибропереноса углеводородов.

На исследуемом месторождении акустическая съемка ранее не применялась. Поэтому обнаруженные акустическими методами слабые тектонические нарушения требовалось подтвердить. Роль слабой тектоники на месторождениях нефти и газа до сих пор не воспринимается некоторыми учеными в качестве основного признака при изучении вторичных или переотложенных залежей. Задачей авторов было обратить внимание именно на роль слабой тектоники при проведении подобных поисковых работ. Привлечение же дополнительных методов позволило доказать эффективность акустических методов при картировании вторичных залежей.

Была выполнена магнитная съемка, которая позволила обнаружить магнитные аномалии от вторичных залежей. Затем следовало подтвердить выделенные акустической съемкой слабые тектонические нарушения. Для этого был использован георадар типа «Лоза» (П.А. Морозов).

На рис. 2 показан пример геолого-геофизического разреза по данным радиолокационного зондирования по профилю (пройденному вкостном), выполненному через действующую нефтяную скважину № 27. Как следует из рисунка, в районе скважины в верхней части разреза (ВЧР) наблюдается нарушение сплошности среды эндогенного происхождения. Не поэтому ли скважина № 27 до сих пор дает нефть? Она приурочена к тектоническому нарушению, уходящему на глубины до 2000 м. Таким образом, радиолокатор (георадар) подтвер-

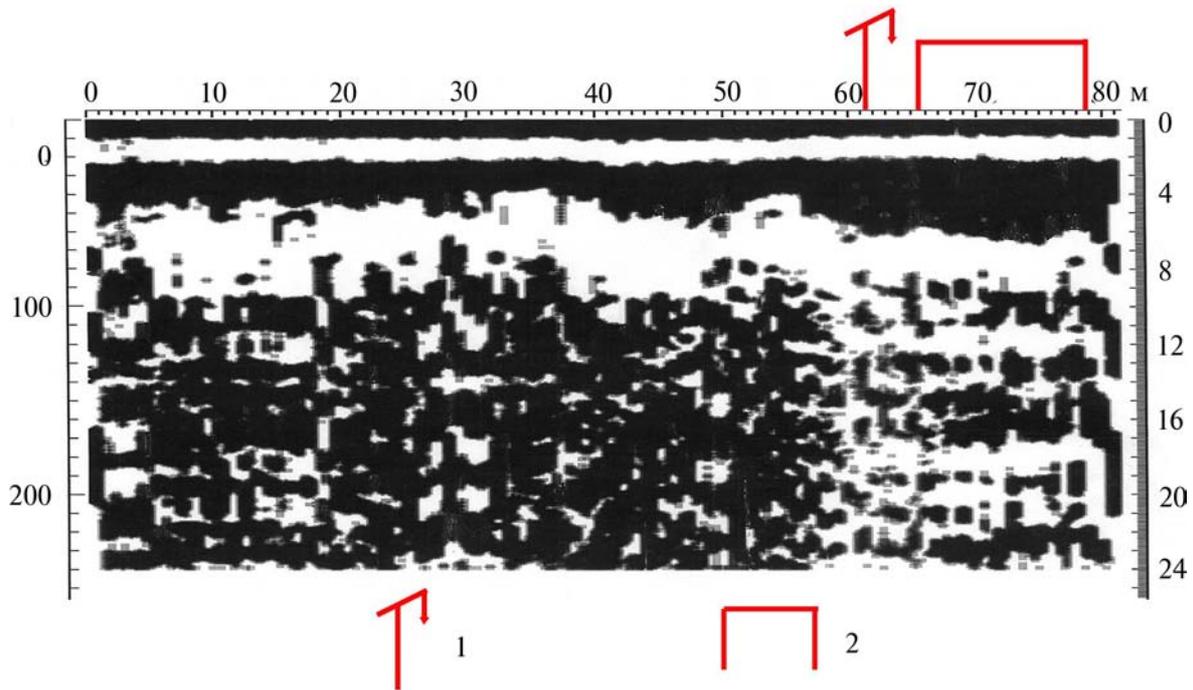


Рис. 2. Геоэлектрический разрез по данным радиолокационной съемки.
 1 — продуктивная скважина № 27 (действующая качалка); 2 — перспективная зона.

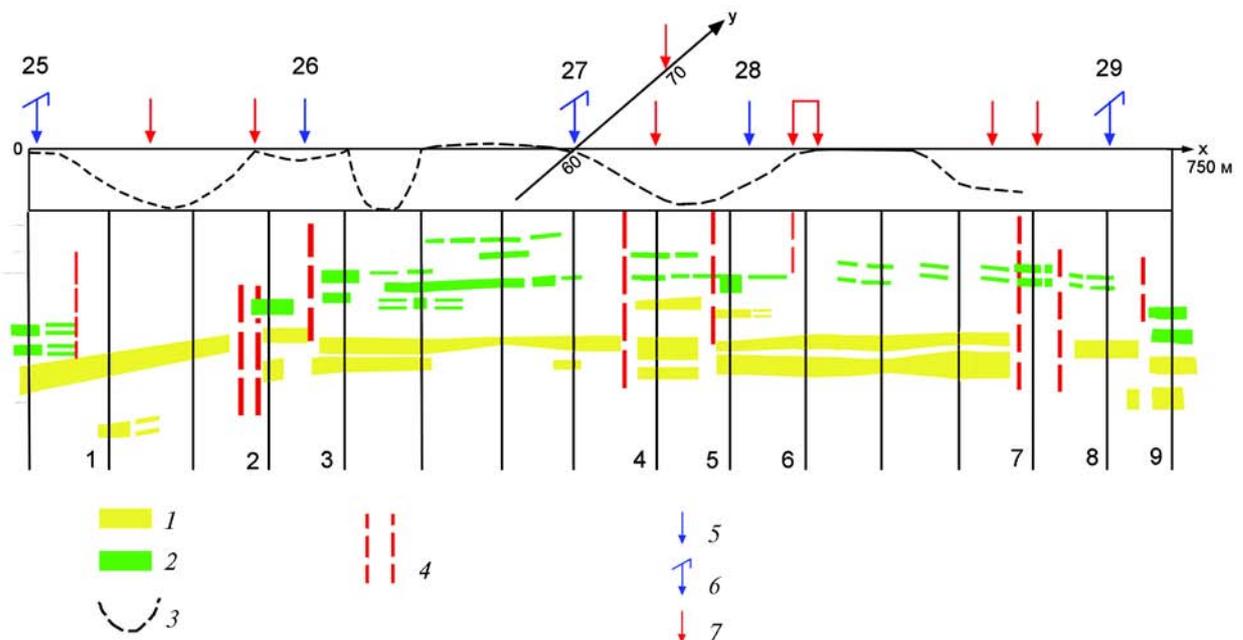


Рис. 3. Комплексный геодинамический разрез на месторождении Да Чин (КНР).
 Длина профиля 750 м. 27 октября 2005 года.

1 — прогнозируемая остаточная залежь углеводородов; 2 — прогнозируемые вторичная залежь и вторичная минерализация; 3 — структурный горизонт ВЧР на глубине 9—11 м по данным радиолокационной съемки; 4 — слабые тектонические нарушения и их номера 1÷9. Качалки нефти из скважин: 5 — отработанные скважины; 6 — действующие скважины; 7 — проектируемые скважины.

дил наличие разлома в ВЧР. Этот разлом выделен с помощью акустической съемки.

Следует заметить, что визуальные наблюдения, выполненные авторами вдоль этого профиля, позволили обнаружить вдоль дороги в кана-

ве наличие слабых тектонических нарушений вблизи поверхности со смещением по вертикали до 20—30 см, что на глубине до 1000 м может возрасти до нескольких метров и нарушать залежь.

Исходя из обнаруженных признаков, рекомендовано бурение поисковых скважин (рис. 3), которые должны подсесть перетекающую внутри залежи нефть и концентрируемую в ловушках, образовавшихся в зонах слабых тектонических нарушений. Кроме того, возникло предположение о наличии глубинной ($n \approx 2500$ м) залежи, но это требует проверки путем проведения более глубокого поискового бурения.

В заключение следует отметить, что геофизические методы — акустическая съемка, сейсмический мониторинг и магниторазведка — могут позволить обнаружить оставшиеся после разработки месторождения залежи, вторичные зале-

жи и их перетоки на «старых» месторождениях углеводородов. Основными критериями при этом служат наличие слабых тектонических нарушений, зон трещиноватости и аномальной тектонической напряженности, обнаруженных по данным акустической съемки.

В связи с наличием на месторождении множества техногенных магнитных помех магнитную съемку лучше всего выполнять в виде аэросъемки на высотах 100—300 м. Тогда комплексирование аэрогеофизических и наземных методов на суше или аэрогеофизических и надводных — на акватории позволят осуществить прямые поиски залежей углеводородов.

Исследования Псковско-Палдисской зоны разлома с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций в системе «берег-море» Северо-Запада России

Краткая характеристика района

Северо-Западный регион России традиционно относился или к асейсмичным территориям или к структурам очень слабосейсмичным. Однако, результаты последних обобщений, а также землетрясений на о. Сааремаа (примерно 100 км от Таллинна) в 1973 году интенсивностью в 6 баллов заставили пересмотреть эти представления для региона (А.А. Смыслов и др.).

В западной части Финского залива около о. Осмуссаар 25 октября 1976 г. произошло землетрясение, которое ощущалось от о. Сааремаа до города Лаппенранта и от г. Тампере до реки Пярну (И.В. Ананьин, Н.К. Булин, Э.Р. Клааманн).

Поверхность фундамента на о. Осмуссаар залегает на глубине 170 м, а к югу и юго-востоку от него на расстоянии 100 км погружается до отметки 500 м. По данным комплексных геофизических исследований фундамент на территории Эстонии разбит глубокими разломами на многочисленные блоки различной величины. Анализ простирания всех разрывных нарушений кристаллического фундамента, выделенных по геофизическим данным, показал, что имеется две системы взаимоперпендикулярных нарушений: широтное и меридиональное, а также диагональная система с нарушениями северо-западного и северо-восточного простирания (Э. Побул, Х. Сильдвэ, 1973). Анализ карт вертикальных движений земной коры, построенных по уровнемерным данным и по результатам повторных нивелировок, выделяет зону больших градиентов вертикальных движений в районе о. Осмуссаар. Это указывает на повышенную тектоническую активность этих зон. А так как они являются живущими зонами разломов, то в них могут накапливаться упругие напряжения, которые при определенных условиях и порождают землетрясения (рис. 1).

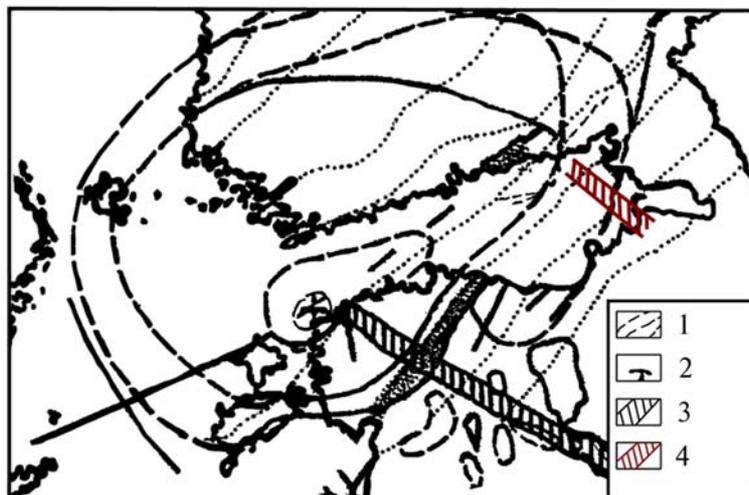


Рис. 1. Карта преимущественных направлений Осмуссаарского землетрясения 1976 г., по данным Никонова А.А. и Ассиновской Б.А.

1 — изосейты землетрясения 25.10.1976 г.; 2 — эпицентр землетрясения 1976 г.; 3 — Псковско-Палдисская зона глубинного разлома; 4 — зона тектонических нарушений в районе ЛАЭС.

Результаты инструментальных сейсмологических исследований в эпицентральной зоне Осмуссаарского землетрясения свидетельствуют о том, что афтершоки и сам основной толчок (по Н. Булину, 1978) произошли внутри гранитно-метаморфического слоя в непосредственной близости к сейсмическому горизонту А, к уровню которого (на 10–15 км) приурочено изменение упругих и магнитных свойств, а также плотности горных пород.

Землетрясение в Осмуссааре в 1976 году с магнитудой 4,7 и интенсивностью в эпицентре 7 баллов (по А.А. Никонову, 2001) заставило пересмотреть оценки геодинамического состояния Северо-Западного региона России.

Как пишет А.А. Никонов (2001 г.), «...во всех частях острова, интенсивность землетрясения определяется $I=7$ по шкале MSK-64, а направление прихода причинивших повреждения колебаний — в общем с северо-востока... при глубине очага $h=12+2$ км...очаг землетрясения, скорее всего, приурочен к зоне Псковско-Палдисского глубинного разлома...» (рис. 1).

Псковско-Палдисская зона разлома выде-

лена по геофизическим данным и прослежена от Псковского озера на северо-запад до о. Осмусаар. На юго-восточном окончании этой зоны в 2002—2003 гг. лаборатория МГМ ФГУП «ВНИИ-Океангеология» выполняла магнитные, электромагнитные и акустические исследования, в результате которых разлом был признан «живущим». Его активизация приводит к подвижкам вдоль зон тектонических нарушений на северо-востоке в Сосновоборском регионе. В районе Калининграда известно такое же северо-западное направление разломов, с одним из которых, по-видимому, связано землетрясение 21 сентября 2004 года. В районе землетрясения ранее было выделено два пересекающихся разлома, установленных по данным сейсморазведки и бурения.

Причиной активизации очага в этой зоне могут являться тектонические нарушения в районе Калининграда и/или активность Псковско-Палдисской живой зоны глубинного разлома и/или удаленные землетрясения.

Другим объектом исследования, на котором более очевидно отмечается влияние Псковско-Палдисской зоны глубинного разлома, является Сосновоборский регион, где в результате выполнения предварительных рекогносцировочных исследований ФГУП «ВНИИОкеангеология» в 1997—2005 гг. выявлены тектонические нарушения на акватории и на побережье Копорской губы.

В системе «берег—море» Копорской губы выявлены глубинные разломы в фундаменте и малоглубинные тектонические нарушения в осадочном чехле, зоны трещиноватости, мелкофокусные структуры, провалы, вспучивания и «грязевые вулканы», образовавшиеся за счет разжижения грунтов. На разрезах верхней части разреза зафиксированы признаки текучести песчано-глинистых отложений и неравномерное напряжение пород осадочного чехла. Зоны трещиноватости в разрезе распространяются как снизу вверх, так и сверху вниз, что свидетельствует, о воздействии крупных зданий на грунт. Для выполнения этих исследований в 2000—2006 гг. использовался разработанный во ФГУП «ВНИИОкеангеология» аппаратный комплекс и соответствующая технология уникальной мобильной комплексной геофизической установки «СЕЙСМОЛАБОРАТОРИЯ».

Полученные в результате эпизодических наблюдений материалы передавались на Ленинградскую АЭС и в мэрию г. Сосновый Бор в виде отчетов с рекомендациями, в том числе по организации сети реперных пунктов для создания геодинамического полигона в районе ЛАЭС с це-

лью прогнозирования развития выявленных геодинамических процессов.

ФГУП «ВНИИОкеангеология» считает необходимым продолжить начатые работы для обеспечения безопасности стратегически важных и экологически опасных объектов за счет снижения сейсмического риска. Для этого требуется создать плотную сеть реперных пунктов на территории Сосновоборского региона. В результате продолжения работ можно будет обнаружить места разжижения песчано-глинистых отложений, провалы и вспучивания и «живущие» разломы, которые могут привести к повреждению функционирующих и строящихся зданий и сооружений Ленинградской АЭС.

В 2006 г. выполнены работы небольшого объема на территории Псковской области в Псковско-Палдисской зоне глубинного разлома и на побережье Копорской губы. Выполнен суточный мониторинг микроземлетрясений и намечены места установки будущих реперных пунктов мониторинга состояния активной тектонической зоны.

Исследование Псковско-Палдисской зоны разлома

Псковско-Палдисская зона разлома исследовалась в районе пос. Гора, где выполнялись профильные наблюдения магнитного поля Земли, электроразведка методом СДВР и акустическая съемка на стоянках (рис. 2). Результаты для удобства использования их в будущем привязывались к километровым столбам вдоль дороги.

На рисунке 2 показаны результаты обнаружения Псковско-Палдисской зоны разлома по аномалиям магнитного поля Земли (201 и 210—214 км) над гранитоидами и по аномалиям импульсов магнитной составляющей СДВ-радиостанций и естественного излучения (196 и 225 км). Стрелками показаны эпицентры микроземлетрясений, зарегистрированных во время наблюдений акустической эмиссии. Очаги предполагаемых микроземлетрясений находятся на границах зоны и ее центральной части.

По аномалиям магнитного поля Земли ΔT выделяется разломная зона. Ее границы оконтурены аномалиями вертикальной составляющей СДВ-радиостанций (см. рис. 2). По акустической съемке на пунктах наблюдений были выделены даже микроземлетрясения, что подтверждает тот факт, что зона разлома является «живущей». Однако активность Псковско-Палдисской зоны разлома подтверждает суточный мониторинг акустической эмиссии, по которой

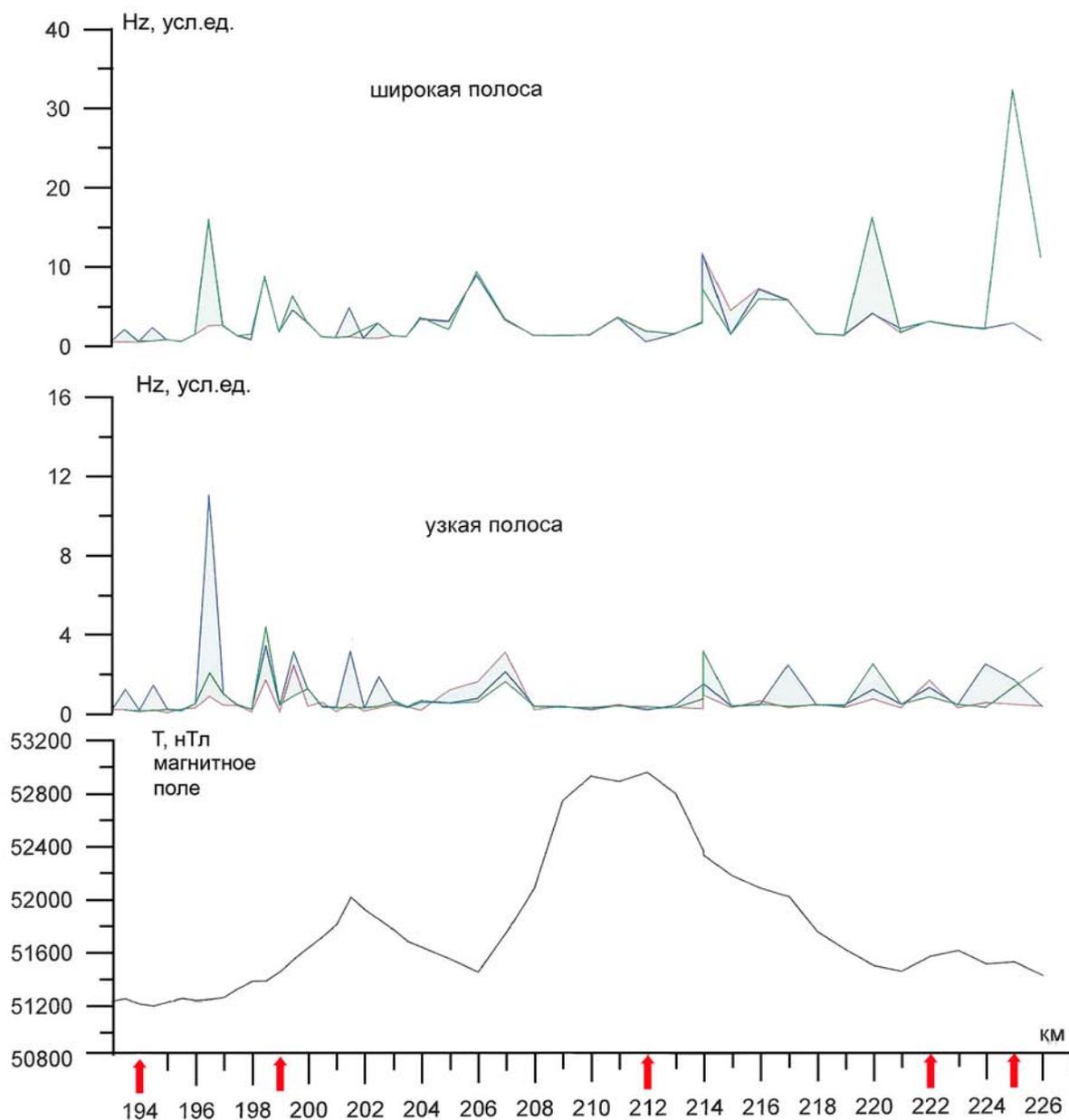


Рис. 2. Обнаружение Псковско-Палдиской зоны разлома по аномалиям геофизических полей.
16 кГц — красный цвет; 19,1 кГц — синий; 23 кГц — зеленый.

выделены микроземлетрясения, выделенные во время испытания новых образцов аппаратуры (см. следующий раздел).

Испытание новых образцов аппаратуры на Псковско-Палдиской зоне разлома

Общим для многих моделей развивающегося очага землетрясения, «живущего» разлома и других опасных геологических процессов является трещинообразование, лавинное трещинооб-

разование, возникновение объединенных трещин больших размеров — магистральных трещин и других разрушений горных пород (Ямщиков В.С., 1984, Вознесенский А.С., 2002). Это приводит к образованию упругих колебаний, которые распространяются по всему объему очагового пространства и могут быть зарегистрированы на поверхности земли в эпицентральной зоне, а при определенных условиях распространения — наличие волноводов, резонансные волны (Паламарчук В.К., Глинская Н.В., 2006) и др. — на больших расстояниях от эпицентра готовящегося землетрясения, где они выступают в роли

предвестников (в первую очередь краткосрочных) землетрясения. Расстояние, на котором регистрируются такие предвестники, увеличивается также благодаря высокой чувствительности широкополосных приемников механических колебаний.

В связи с важностью выбора аппаратуры для регистрации предвестников удаленных землетрясений при выполнении полевых работ в мае 2006 года на Псковско-Палдисской зоне разлома при автономной регистрации трех составляющих X, Y и Z акустической эмиссии были выполнены сравнительные испытания двух типов дат-



Рис. 3. Станция ГНОМ на базе геофонов. Диапазон регистрируемых частот 0,05–400 Гц.



Рис. 4. Станция «Черепашка» (а) с пьезодатчиками (б). Диапазон регистрируемых частот 0,5–17000 Гц.

чиков — сейсмоприемники (геофоны) и пьезо-керамические датчики. Заранее заметим, что речь шла не о выборе лучшего прибора, а об оценке применимости как одного (трехкомпонентная станция типа ГНОМ, разработка Техморгео, рис. 3), так и другого (трехкомпонентная станция типа «Черепашка», регистратор — разработка Техморгео, акустические датчики — ООО «Гео-Магнит», рис. 4) приборов для решения различных геодинамических задач.

На рис. 5 показаны синхронные записи Z-компоненты акустической эмиссии, полученные с помощью двух автономных станций (АС) с сейсмоприемниками (геофоны) и пьезо-керамическими датчиками. Как следует из рисунка, наблюдается визуальная корреляция между принятыми сигналами. Однако, пьезодатчики АС «Черепашка» принимают сигналы в более широком интервале частот и это отражается на информативности записи. Эти датчики будут принимать сигналы от более удаленных очагов и могут быть использованы для обнаружения краткосрочных предвестников на региональной прогностической сети. Станции типа ГНОМ могут быть использованы в очаговых зонах, «живущих» разломах, на оползнях и др. объектах.

Результаты обработки двух записей свидетельствуют о правомерности сопоставления двух приборов, которые на близком расстоянии от исследуемого объекта — оба прибора были установлены в зоне одного и того же «живущего» разлома — дают практически одинаковые результаты (рис. 6 А и В).

Однако, на высоких частотах (рис. 7) станция типа «Черепашка» (регистратор — разработка Техморгео, акустические датчики — ООО «Гео-Магнит») с трехкомпонентными пьезодатчика-



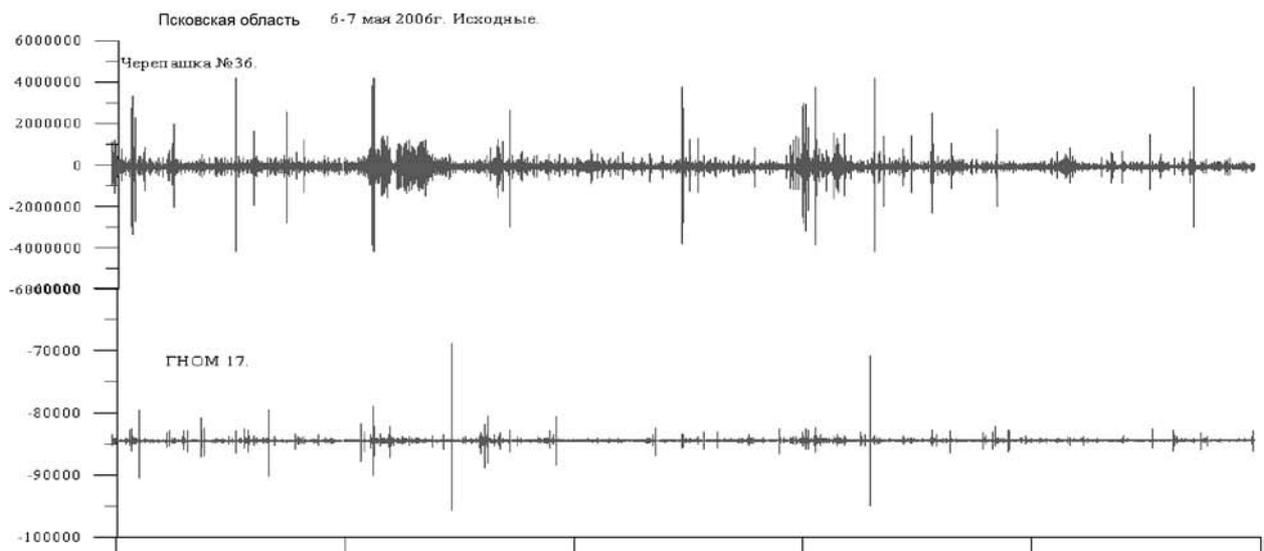


Рис. 5. Синхронные записи акустической эмиссии (Z-компонента).

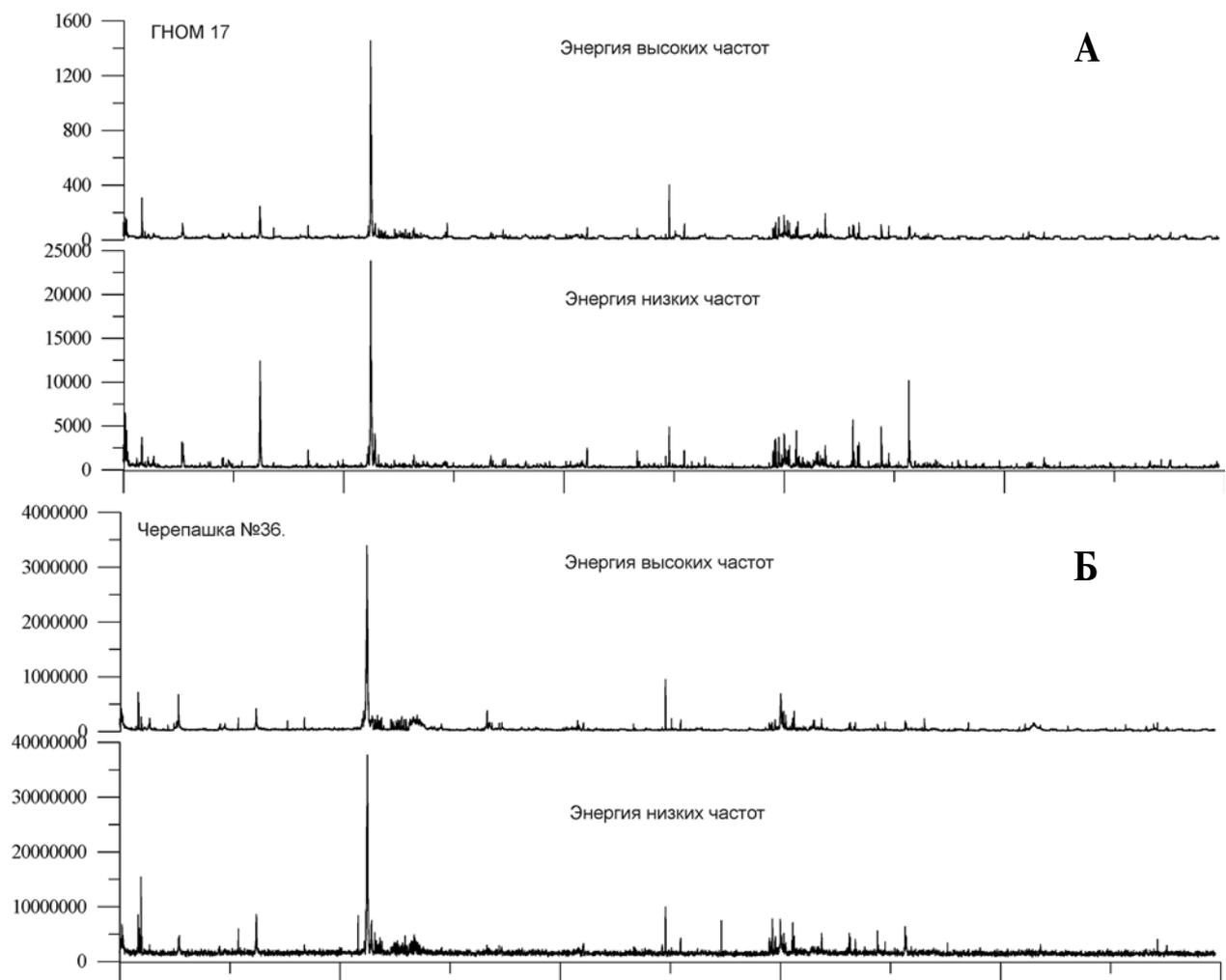


Рис. 6. Сравнение энергии акустической эмиссии высоких и низких частот для двух регистров (синхронная запись).

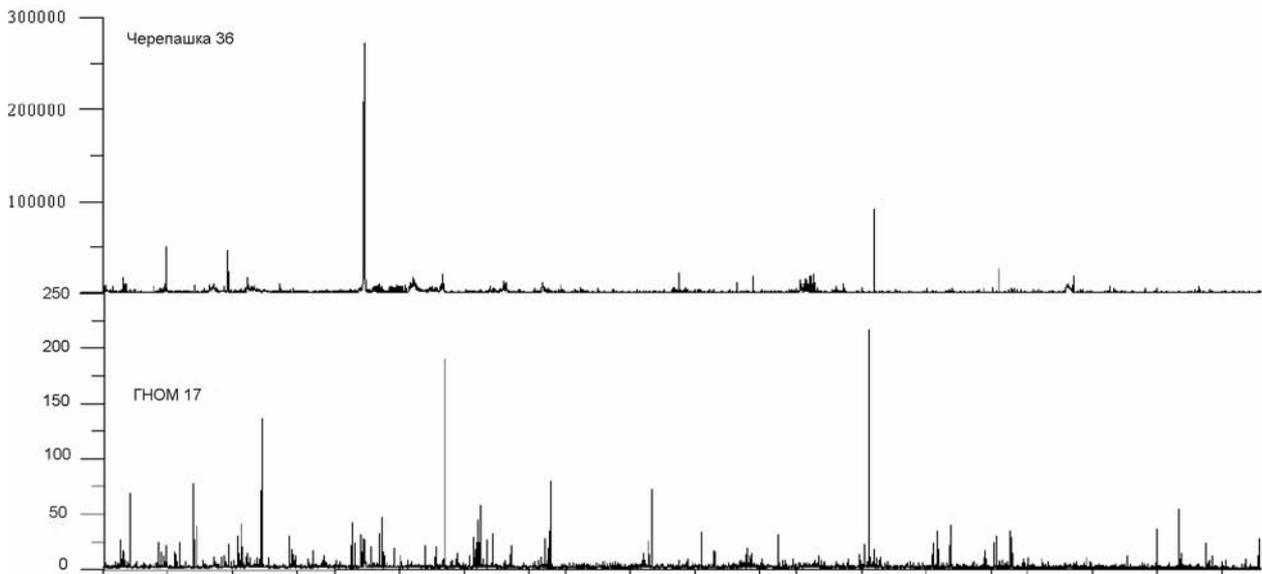


Рис. 7. Сравнение энергии высоких частот для двух регистраторов (синхронная запись).

ми имеет явное преимущество перед датчиками АС типа ГНОМ (Техморгео), так как не выделяет ложных микроземлетрясений и в отличие от АС ГНОМ выделяет уже известное микроземлетрясение.

Учитывая, что из экономических соображений АС устанавливаются по редкой сети, и поэтому они в большинстве случаев попадают в дальние зоны очагов, а распространение акустической эмиссии происходит на разных частотах и непростыми способами (Паламарчук В.К., Глинская Н.В., 2006 г.), для обнаружения предвестников землетрясений предпочтение следует отдать АС типа «Черепашка» с пьезодатчиками, а АС типа ГНОМ — использовать на небольших локальных объектах типа оползней и других опасных геологических объектах и/или при региональных, в т.ч. глубинных исследованиях.

Исследования на побережье Копорской губы

Электромагнитные предвестники разрушения в районе крупных промышленных объектов на побережье Копорской губы

Возмущения электромагнитного поля наблюдаются в основном в очагах разрушения при образовании трещин за счет естественных и/или техногенных нагрузок на массивы горных пород. Как обычно, максимумы возмущений предшествуют максимуму нагрузок, тяготеют к зонам нарушений и носят гармонический и импульсный характер в широком спектре частот. На этих же частотах наблюдаются промышленные помехи, что затрудняет разделение сигналов различного происхождения. В связи с этим для обнаружения ослабленных (разрушенных) зон исполь-

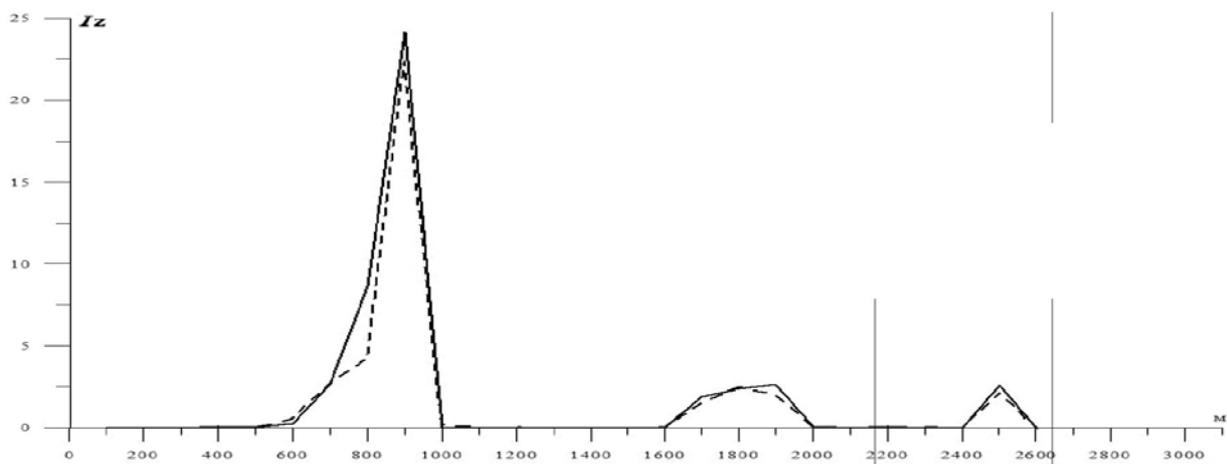


Рис. 8. Результат электромагнитного профилирования на частотах СДВ-радиостанций: импульсы Hz.

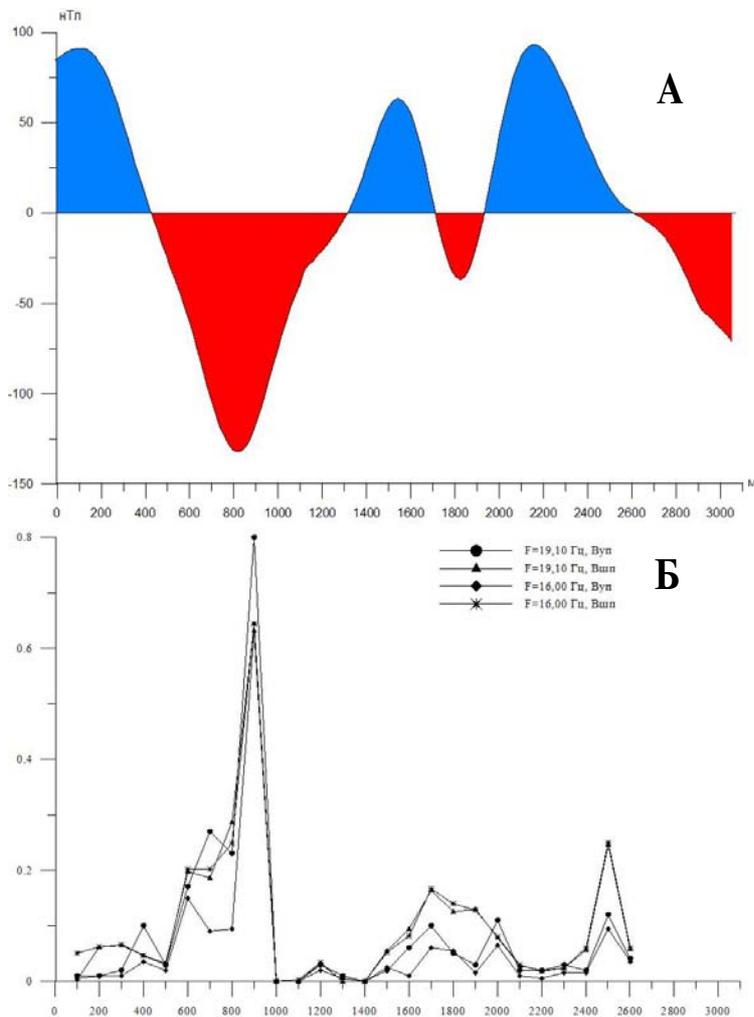


Рис. 9. Результат магнитной (А) и электромагнитной (Б) съемок.

зуется метод СДВР, который использует узкие интервалы частот радиостанций. Например, 19,1 кГц. Импульсы регистрируются на всем интервале СДВ-частот (рис. 8). Измеряется H_z и соответствующие импульсы вертикальной составляющей. При наличии интенсивных помех вертикальная антенна сверху накрывается металлическим экраном. Горизонтальные компоненты не измерялись.

В комплексе с методом СДВР использовались измерения магнитного поля Земли.

Аномалии магнитного поля Земли точно также как и H_z СДВР выделяют зоны разрушения по минимумам поля ΔT благодаря тому, что в разломных зонах уменьшается намагниченность пород.

В качестве примера рассмотрим результаты наблюдения составляющей H_z и магнитного поля Земли на побережье Копорской губы (рис. 9).

Как следует из представленных материалов, по аномалиям магнитной составляющей H_z элек-

тромагнитного поля радиостанций и импульсам I_z вертикальной составляющей выделяются три зоны нарушения, которые видны также в аномалиях магнитного поля Земли. Импульсы H_z выделяют эти же зоны, что может свидетельствовать о происходящих в них в настоящее время геодинамических процессов, то есть выделяемые зоны нарушений продолжают разрушаться в настоящее время. Это «живущие» нарушения и «живущие» сегодня, а не просто в четвертичный период, как это принято определять «живущий» разлом.

На рисунке 10 приведены геоэлектрические разрезы, полученные на побережье Копорской губы в 2005 г. и 2006 г. Выполнение георадарной съемки с разностью в один год позволило выполнить своеобразный мониторинг разреза, а так как на акватории Копорской губы ранее были обнаружены текучие песчано-глинистые отложения, то изменение разреза в течение одного года на побережье может свидетельствовать о том, что текучие отложения характерны для береговой зоны. Это требует выполнения специальных исследований и в первую очередь в районах строительства крупных промышленных объектов, так как техногенное воздействие может усилить текучесть отложений верхней части разреза и создать опасные геодинамические зоны.

Влияние геодинамических процессов на грунты верхней части разреза (ВЧР)

Механические свойства ВЧР определяются содержанием компонентов, пористостью, обводненностью, наличием пузырьков газа и скелета, образованного твердыми частицами с определенными прочностными связями между ними. Если песчаные отложения ВЧР расположены ниже уровня грунтовых вод или на акваториях, то они находятся в водонасыщенном состоянии. Если при этом их твердые частицы находятся в жидкости и не имеют контактов, то они не могут создать скелета и образуют плывуны.

Воздействие на ВЧР геодинамических нагрузок приводит к разрушению скелета и перераспределению твердых частиц. Разрушения пород скелета ВЧР происходит как в период нарастания, так и в период спада напряжений. Разрушения наступают не только от силы воздействия, но и от длительности приложенных нагрузок.

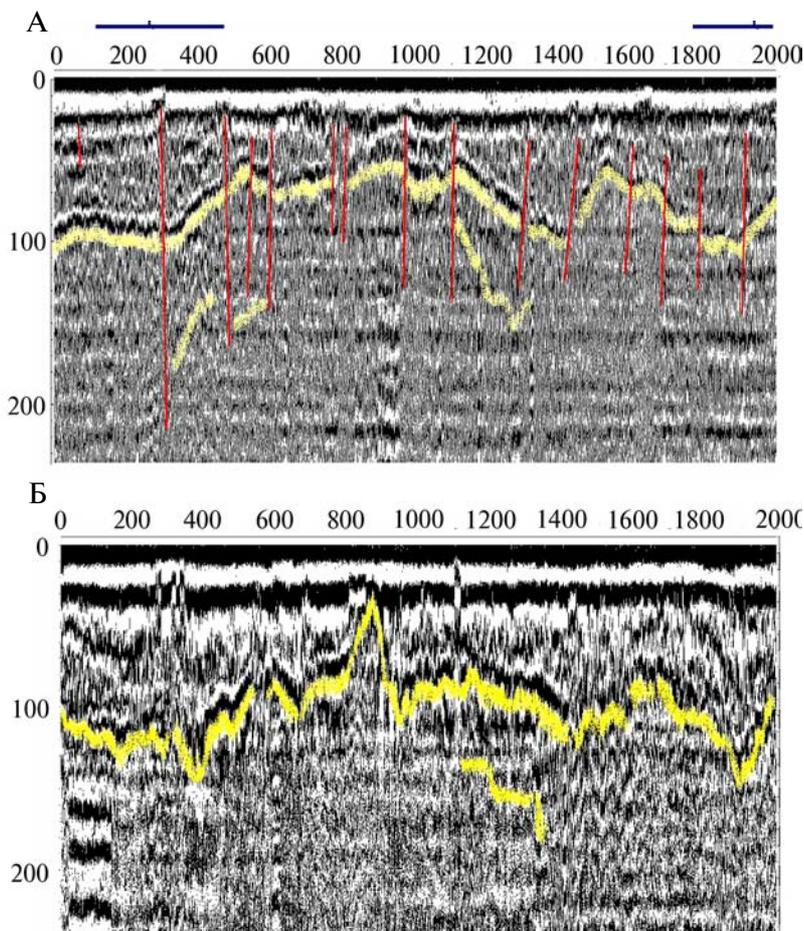


Рис.10. Результат радиолокационного зондирования на профиле.
А — 2005 г.; Б — 2006 г.

Примером приложения горизонтальных нагрузок на грунты ВЧР и разрушение скелета ВЧР наблюдается на разрезах Копорской губы.

Если напряжения превышают предел прочности, то появляются остаточные деформации, в которых может быть зафиксирована история тектонических процессов. К примеру, разжижение грунтов ВЧР, вызванное разрушением глинистого скелета на акватории Копорской губы, привело к подъему текучих песчано-глинистых отложений по нарушениям в ВЧР. В разрезах зафиксировано несколько циклов сжатия.

Благодаря тектоническому нарушению грунт находился в рыхлом состоянии. После приложения к грунтам сил сжатия произошло их уплотнение, а после растяжения — усадка. Во время сжатия происходило разжижение водонасыщенных грунтов, благодаря которому на акватории Копорской губы образовались грязевые вулканы. В разрезах по «пробкам» глинистого материала может быть оценена цикличность. Подобные нарушения являются «живущими». Если они выходят на поверхность в районе промышленных объектов, то подвижки по ним могут

привести к тяжелым последствиям. При разжижении отложений ВЧР грунт превращается в суспензию и теряет несущую способность, а возведенные на нем сооружения претерпевают усадки. В результате подвижек в зоне рассматриваемого тектонического нарушения на акватории Копорской губы шириной 1150 м произошла осадка донных отложений на 5,2 м.

Разжижение слоев при разрушении их скелета может привести к выдавливанию (выносу) на поверхность жидкости со взвешенными частицами. Если это частицы опасных веществ, то может произойти экологическая катастрофа. В связи с этим в районах образования текучих песчано-глинистых отложений необходимо проверять наличие естественных и техногенных экологически опасных отложений и/или отходов.

Разрушения структуры ВЧР с потерей его скелета возможно не только за счет тектонических и других напряжений, но и за счет прохождения сейсмической волны от близких (даже слабых) или удаленных (сильных) землетрясений.

Прохождение сейсмической волны приводит к сжатию насыщенного в той или иной мере водой и газом скелета ВЧР, который после снятия нагрузки теряет свои прочностные свойства. Деформация ВЧР снижается, если его поры заполнены водой с пузырьками газа. С увеличением в отложениях ВЧР газа вероятность разжижения при одних и тех же условиях сжатия уменьшается.

На акватории Копорской губы по данным сейсмоакустической съемки выявлены многочисленные участки оседания грунтов в виде чашеобразных провалов дна, опускание на которые захватили слои ВЧР от нескольких метров до десятков-сотен метров. На некоторых участках прогибание грунтов вызвало дополнительные горизонтальные и вертикальные смещения слоев.

Воздействие оседания грунтов на здания и сооружения зависит от соотношения их размеров. Наиболее опасными являются оседания, размеры которых близки к размерам зданий.

Если грунты ВЧР закреплены глинистым скелетом, то после его разрушения вода получает доступ к этим слоям и поглощающая воду глина

увеличивается в объеме. Это приводит к вспучиванию, которое может образовать растрескивание фундамента, разрывы коммуникаций или открывает выход разжиженных грунтов на поверхность.

На акватории Копорской губы в 1999 г. был обнаружен ряд вспучиваний, которые связывались нами с тектоническими процессами в ВЧР Сосновоборского региона. К сожалению, эти вспучивания коррелируются в районы застроек.

Процесс нарушения слоистости песчаноглинистых отложений (геодинамический процесс) может быть определено по результатам мониторинга ВЧР. К примеру, с помощью радиолокационного зондирования, сейсмоакустических, сейсморазведочных и др. геофизических исследований. На рис. 10 приведено два разреза, полученные с помощью георадара типа Лоза в 2005 и 2006 гг. Как следует из разрезов, в течение года произошло изменение верхней части разреза на суше, что позволяет идентифицировать геодинамические процессы на суше и на море, а значит и в промежутке — в районе промышленных объектов.

Заключение

Целью выполнения дальнейших работ является разработка элементов функциональной подсистемы мониторинга состояния недр с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций в системе «берег—море» Северо-Запада России. Для этого потребуются:

— апробирование и развитие методики краткосрочного и среднесрочного прогноза чрезвычайных ситуаций использования комплексных геолого-геофизических данных для разра-

ботки функциональной подсистемы мониторинга состояния недр на территории Российской Федерации;

— изучение геодинамических разрезов в системе «берег—море» в районе г. Калининграда, Псковско-Палдисской зоны разлома и Сосновоборского региона (геоакустические разрезы на акватории — 1000 пог. км; геоакустические разрезы на суше — 50 пог. км; геоэлектрические разрезы на побережье — 50 пог. км; аэромагнитная съемка — 10000 пог. км; суточный мониторинг, стоянок — 27);

— оценка состояния оползней, «живущих» разломов и других опасных геологических процессов на побережье Северо-Запада России (4 оползня, 6 «живущих» разломов);

— инженерно-геологические исследования с помощью сейсмоакустической и георадарной съемок на суше и на акватории в районе строительства новых блоков Ленинградской АЭС с целью выделения «живущих» разломов и других опасных геологических процессов: $S=2 \times 3$ км, на суше через 100 м, на акватории через 500 м;

— экспериментальные работы, обеспечивающие разработку и поверку технологии оценки состояния геологической среды и прогнозирования изменения ее состояния под влиянием природных и техногенных факторов;

— статистика микроземлетрясений за год;

— разработка предложений по предотвращению или снижению возможного отрицательного воздействия опасных геологических процессов;

— сбор, накопление, обработка и анализ информации;

— элементы технологии мониторинга состояния недр с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций в системе «берег—море» Северо-Запада России.

Коллектив авторов

ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВНИИОКЕАНГЕОЛОГИЯ В 2006 ГОДУ

Ежегодный обзор

Редактор издательства ВНИИОкеангеология *А. И. Бурская*
Компьютерная верстка *Н. А. Леонтьева*

Подписано в печать 22.06.2007. Формат 60х90/8.
Уч.-изд. л. 8. Усл. печ. л. 8,4. Тираж 140 экз.

Отпечатано в отделе маркетинговых исследований
и издания научно-технической продукции ФГУП «ВНИИОкеангеология»

190121, Санкт-Петербург, Английский пр., 1.