

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ЭКСПЕДИЦИОННЫХ РАБОТ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ ПО ПРОГРАММЕ ПЛАВУЧЕГО УНИВЕРСИТЕТА «ОБУЧЕНИЕ ЧЕРЕЗ ИССЛЕДОВАНИЯ» (ТТН-21)

^{1,2,3}Рыбалко А.Е., ⁴Токарев М.Ю., ⁴Полудеткина Е.Н., ⁵Потемка А.К., ⁴Пирогова А.С.,
¹Аксенов А.О., ¹Бирюк М.А., ¹Кудинов А.А., ⁴Буланова И.А.

¹Институт наук о Земле СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

²ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, Россия

³ЦМИ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

⁴МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

⁵ООО «СПЛИТ», Москва, Россия

Приводятся геологические результаты научно-экспедиционных работ в северной части Карского моря в рамках выполнения рейса «Плавучего университета МГУ» в 2022 году на НИС «Академик Петров». Приведены сведения о методике работ, предусматривающей проведение опережающих геофизических исследований, набортной обработке и экспресс-интерпретации сейсмоакустических и гидроакустических данных, геологического пробоотбора и комплекса набортных аналитических исследований. Приводятся основные полученные научные результаты, в том числе данные о существовании ледникового покрова на части исследованной подводной территории, наряду с существованием длительно существовавших морских и ледниково-морских бассейнов, а также осушенной во время позднеплейстоценовой регрессии участков континентальной суши с убедительными примерами формирования криолитозоны.

Ключевые слова: *Карское море, Плавучий университет, ледниковые отложения, криогенные явления, подводные долины, сейсмоакустическое профилирование, многолучевое профилирование*

Двадцать первая экспедиция Плавучего университета ЮНЕСКО-МГУ «Обучение через исследования-ТТН-21» состоялась летом 2022 года. Этот рейс явился закономерным продолжением двух экспедиций на севере Баренцева моря в 2020, 2021 г.г. [Соловьева и др., 2021] и двадцать первым в ансамбле плавучих университетов, организованных МГУ [Рыбалко, Ахманов, 2021]. Работы выполнялись на НИС «Академик Петров», принадлежащему ИО РАН. Особенностью этого рейса явилось впервые участие в морских экспедиционных исследованиях аспирантов и студентов Института наук о Земле СПбГУ, часть из которых является авторами этого сообщения.

Рейс проходил в период с 10 июля по 23 августа 2022 года, объектом исследований была выбрана относительно мало исследованная северная часть Карского моря, вблизи впа. Уединения (Рис. 1).

Основными геологическими задачами экспедиции являлись:

- фундаментально-научное обоснование подходов комплексного изучения геолого-геоморфологического строения морского дна (включая анализ формирования структурно-эрозионных форм рельефа, подводных литодинамических и гравитационных процессов) в районах высокой Арктики;

- развитие теоретических основ и практики применения комплексных геолого-геофизических и геохимических методов при изучении углеводородных систем Арктического региона.

Конкретными задачами являлось освещение вопросов оледенения этой части Карского моря, а также изучение сети многочисленных подводных долин и опасных геологических процессов и явлений, что представляло актуальную задачу в свете развивающихся здесь инженерных объектов для хозяйственного освоения морского дна.

Состав экспедиции представляли 10 научных сотрудников и специалистов (в том числе и из Института Наук о Земле), 27 студентов и аспирантов из 9 научных и образовательных организаций. Студенты, наряду со взрослыми участниками рейса несли

рабочие вахты, где познакомились с современными принципами проведения научных морских исследований, адаптированных к суровым условиям Арктического региона.

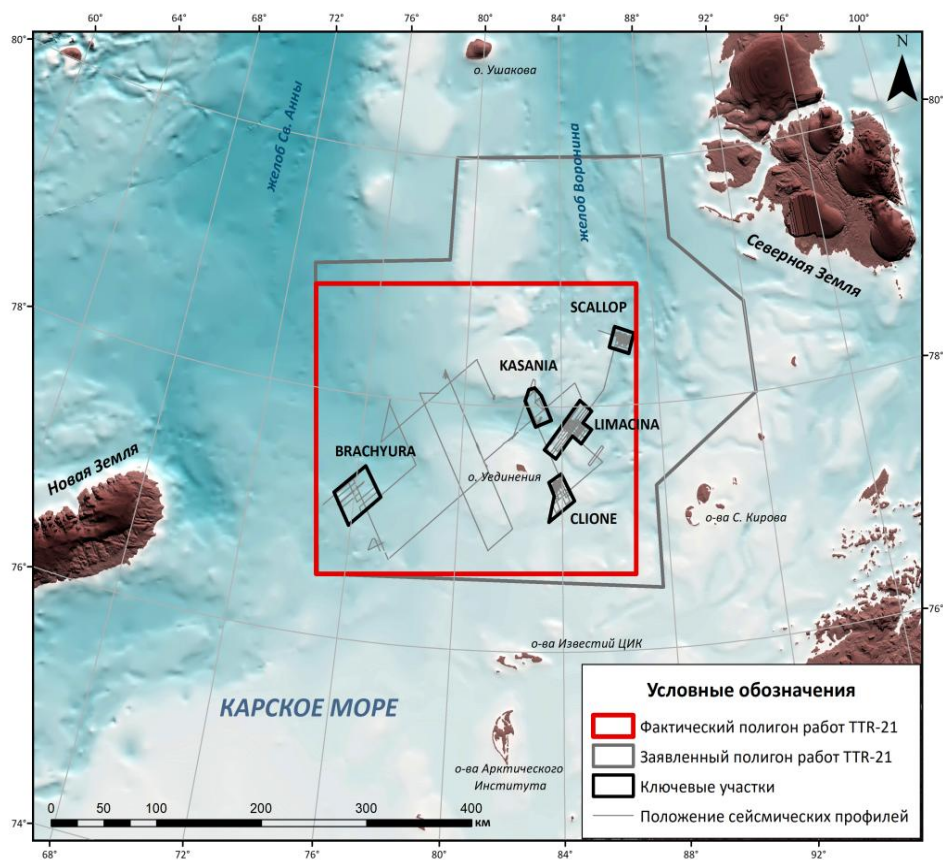


Рис.1. Район экспедиции TTR-21

Экспедиция носила комплексный характер и поэтому использовался широкий набор методов. Большое внимание было уделено геофизическим методам, которые как предваряли все виды заборных работ, так и уточняли обстановку после их завершения. Проводились различные виды работ: съёмка рельефа дна многолучевым эхолотом, акустическое профилирование, многочастотная сейсморазведка с электроискровым источником, а также проводились ультразвуковые исследования керна для определения скорости звука в различных типах осадков. Большую роль в успешном проведении работ сыграл недавно установленный на НИС «Академик Петров» гидроакустический комплекс, в состав которого входили акустический профилограф, обеспечивающий возможность сбора данных в трехчастотных диапазонах в полосе 0.5-50 КГц в, многолучевой эхолот, с возможностью регистрации «амплитуды обратного рассеяния сигнала», используемого в гидролокации бокового обзора. Использование материалов разночастотного сейсмоакустического профилирования во много раз повышало надежность геологической интерпретации акустических материалов, служило решающим фактором для проведения целенаправленного геологического пробоотбора, а также явилось прекрасной методической базой для студентов, наглядно демонстрирующих достоинства и недостатки разных геофизических методов (Рис. 2).

Геологический пробоотбор осуществлялся с помощью гравитационной трубки длиной 3-4,5м, весом до 500 кг с пластиковым вкладышем. На палубе пластиковая труба расчленялась на несколько интервалов длиной около 1 м, затем разрезалась пополам. После этого одна часть шла на описание и отбор проб для литологических исследований, другая – на геохимические исследования. На нескольких опорных станциях был проведен повторный отбор керна (неразрезанный керн в секциях был отправлен в Москву на

радиографические исследования, а далее его предполагается использовать для биостратиграфических исследований).

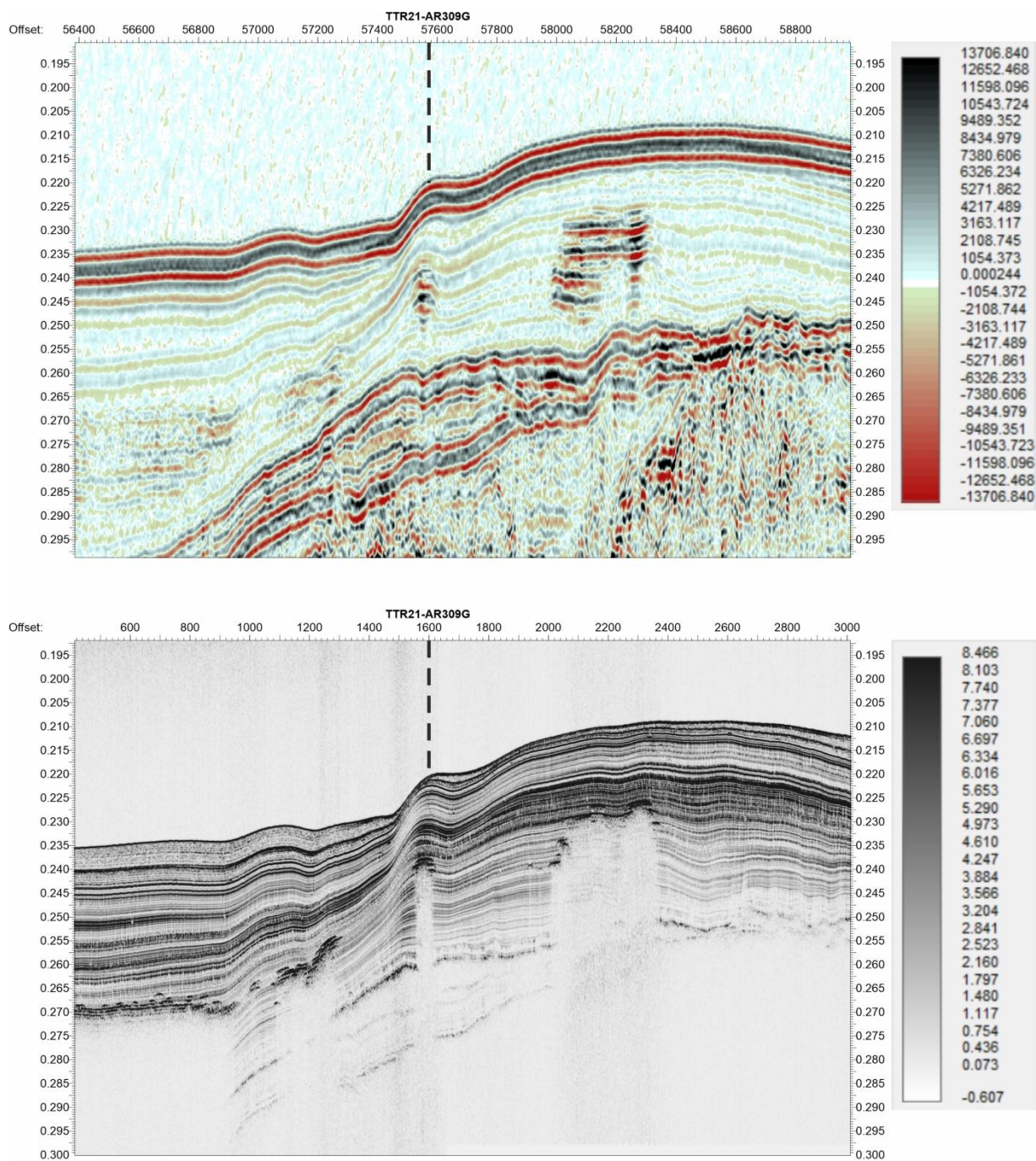


Рис.2. Пример совмещения профилей, полученных методами ССВР (сейсмозвездка сверхвысокого разрешения – А) и АПр (акустическое профилирование- нижний снимок) для уточнения строения верхней части разреза, идентификации газонасыщенных осадков и выбора точек отбора проб. Пунктир – положение геологической станции AR-309G

Большое внимание в ходе работ было уделено газогеохимическим исследованиям, которые включали дегазацию газа из донных осадков и дальнейший отбор проб для экстракции органического вещества. Кроме того, проводились отбор проб иловых вод с определением в них основных гидрохимических параметров, а также микробиологические исследования, направленные на выявления субкультур, толерантных к метановым газам.

Погодные условия благоприятствовали работам. Практически не было не потеряно ни одного рабочего дня, а несколько дней с усилением ветра только способствовали знакомству молодых участников экспедиции с условиям проведения работ в море. Всего за рейс было выполнено:

- 3600 км сейсмических наблюдений;
- 5800 многолучевого эхолотирования;
- 104 точек отбора геологических проб.

Методология изучения крупного участка морского дна детальными исследованиями заключалась в выборе 5 ключевых участков, проведении на них площадной сейсмоакустикой, гидролокационной и многолучевой эхолотной (мультибим) съемки и последующего интерпретационного геологического пробоотбора. Ключевые участки связывались отдельными опорными сейсмогеологическими профилями (Рис. 1). В случае выявления на этих профилях интересных с различной точки зрения объектов (геоморфологических, проявлений выходов на поверхность дна газифлюидов и др.) они также опробовались геологической трубкой и около них проводилась площадная эхолотная съемка с помощью многолучевого эхолота.

Одной из задач экспедиции являлось уточнение границ оледенения в районе исследований. Этот вопрос в северной части Карского моря является предметом длительных дискуссий, главным образом из-за недостатка фактического материала. Имеющиеся государственные карты четвертичных отложений [Васильев и др., 2013, Качурина и др., 2013] содержат крайне мало информации о гляциальных формах рельефа, а границы позднеплейстоценового (сартанского) оледенения на Северо-Карском шельфе практически опираются только на данные экспедиции ВНИИОкеангеологии, руководимой Л.В. Поляком, в 2001 году [Гайнанов и др., 2005]. В тоже время нельзя не отметить странность рисовки контура покровного оледенения, когда в позднем неоплейстоцене он не затрагивал островов Северной Земли, в то время как в голоцене оледенение этого архипелага мало отличается от островов Земли Франца-Иосифа, которая при этом в тоже время (в позднем неоплейстоцене) служила одним из центров оледенения, которое затем выходило в пределы Северо-Баренцевоморского шельфа [Svendsen et al., 2004].

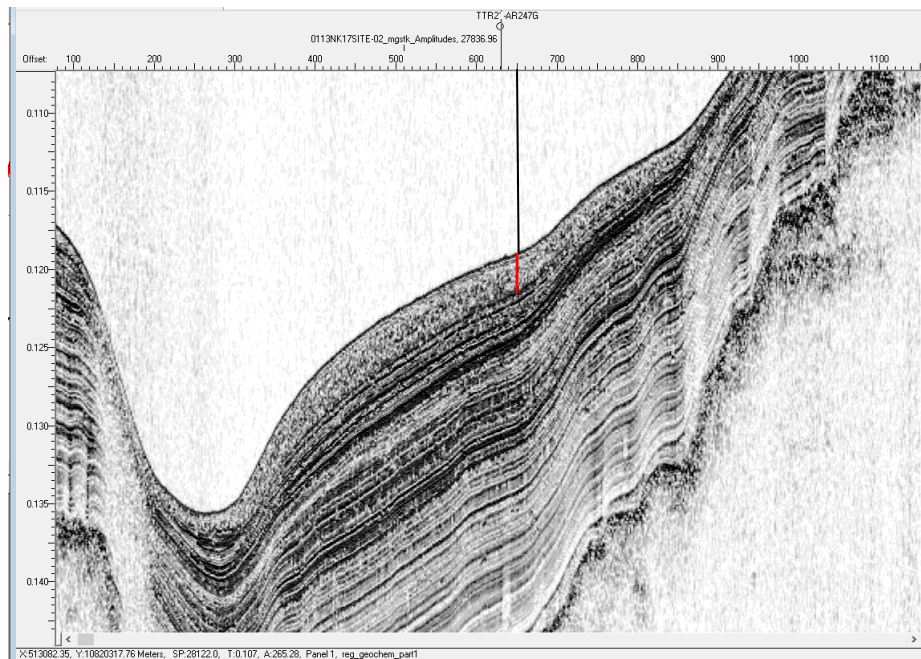


Рис.3. Сейсмоакустический разрез толщи морских отложений на ключевом участке Limasina. Красная линия- геологическая станция AR-247G. Глубина моря 91,5м

Как известно, одним из основных итогов двух предыдущих экспедиций ТТР на Северо-Баренцевоморском шельфе являлось обнаружение многочисленных следов воздействия ледников на морское дно, что указывает на присутствие здесь ледникового щита [Соловьева и др., 2021]. Аналогичные следы деятельности ледников были обнаружены и в южной части Карского моря [Рыбалко и др., 2020]. Результаты исследований экспедиции ТТР-21, убедительно свидетельствуют, что строение четвертичного покрова на Северо-Баренцевоморском и Северо-Карском шельфах существенно различаются. При, в целом, незначительной мощности рыхлого покрова на обоих, сходных по морфологии поверхности морского дна, участках, на севере Карского моря присутствуют районы с мощными разрезами морских отложений (морской генезис доказан наличием ракуши в ядрах грунтовых трубок). При этом, мощность этих разрезов такова (более 20-25 м, а иногда и больше), что их образование никак не укладывается в рамки голоцена, а требует расширения временного интервала морского осадконакопления, по крайней мере, до верхнего неоплейстоцена (стадии МИС 3,4). Это автоматически свидетельствует о невозможности существования здесь сартанского ледника (Рис. 3).

Наряду с этим были выделены участки (преимущественно мелководные с глубинами до 50-60 м на мелководье о. Уединения) с проявлениями мерзлых толщ и криогенными явлениями в виде термокарстовых воронок и пр. Более подробно об этом будет рассказано в специальном докладе, а здесь отметим, что наличие этих факторов также свидетельствует, что, по крайней мере, часть исследованной подводной территории в пределах контура заявленной площади находилась во внеледниковой области.

Однако, одновременно, проведенные исследования позволили выделить в рельефе морского дна участки с явно ледниковыми формами рельефа. Так, на склонах и подножии Центрально-Карской возвышенности были выделены сейсмофации, характеризующиеся хаотической волновой картиной (Рис. 4) с холмистой, неровной кровлей. Для них присуще локальное залегание, когда отдельные тела имеют мощность около 30 м, а иногда полностью выклиниваются. Эти отложения были предварительно отнесены к сартанским ледниковым отложениям. Наряду с этим на бровках плато Центрально-Карской возвышенности были выделены небольшие клинообразные аккумулятивные тела высотой 15 м. и перекрывающие ледниковые образования (Рис. 4). Такой специфический характер записи позволяет интерпретировать эти осадки как флювиогляциальные дельтовые. Характерно, что ледниковые формы рельефа часто бывают сопряжены с зонами развития мощных слоистых толщ, характер записи которых говорит об их водном генезисе. Нередко в верхней части разреза этих толщ отмечаются четкие отражающие горизонты. В этом случае, верхние сейсмогоризонты могут быть отнесены к нерасчлененным ледниково-морским и морским отложениям верхнего неоплейстоцена-голоцена. В отдельных колонках были вскрыты слоистые отложения (слоистость типа градационной), что подтверждает ледниково-морской генезис некоторых вскрытых осадков. Тем не менее, большинство вскрытых трубой горизонтов можно уверенно отнести к морским нефелоидам.

Таким образом, налицо близкое к мозаичному чередование седиментационных обстановок, отражающих длительное сохранение морских условий (частично-ледниково-морских), ныне затопленных континентальных равнин с элементами промерзания осадочных толщ в континентальную фазу развития и зон развития ледниковых покровов. При этом такие характерные формы, как типичные морены Де-Геера и зоны непосредственной ледниковой штриховки ложа ледника, столь типичные для Северо-Баренцевоморского шельфа, здесь не были обнаружены, либо имеют другой характер.

Наряду с формами ледникового, перигляциального и криогенного рельефа яркой чертой данного района Карского моря является наличие многочисленных врезов различной формы, заполненных осадками и открытых. Они входят в состав грандиозной дренажной системы Северо-Карского шельфа, открывающейся как в желоб Воронина, так и в проливы Вилькицкого и Карского архипелага. Наряду с беспорными врезами и

палеоврезами, как и во всем Карском море, по данным сейсмоакустики выделено большое количество «врезов» неясной генетической принадлежности, часто сближенными между собой, которые отстоят друг от друга на расстояния в первые сотни метров. В них нередко фиксируются ослабленные рефлекторы, которые находят свое продолжение во вмещающих отложениях.

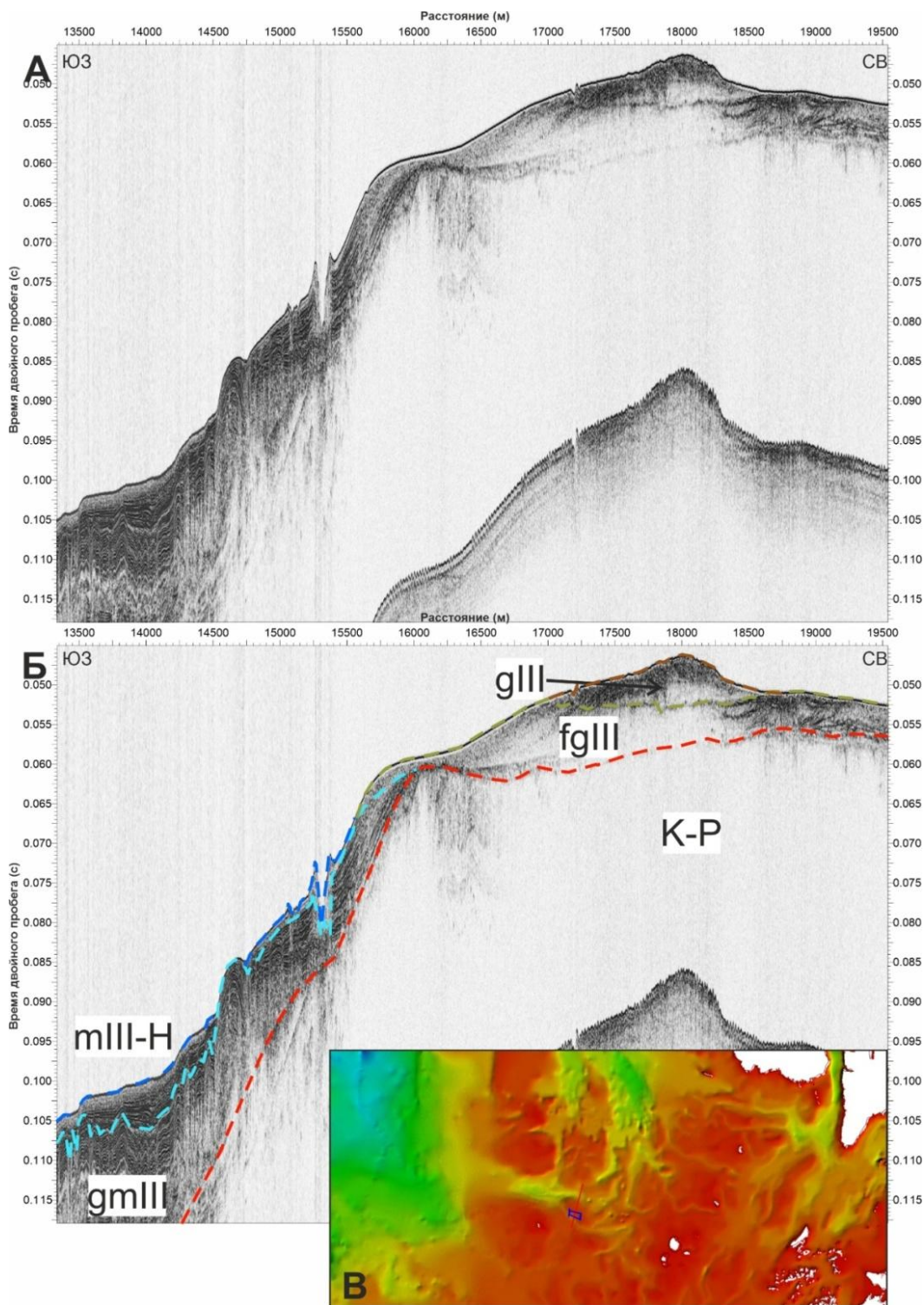


Рис. 4. Фрагмент профиля АПр reg_geochem_part1: А – без интерпретации; Б – с элементами интерпретации, К-Р–коренные породы мела-палеогена, gIII–сартанские ледниковые отложения, fgIII–сартанские флювиогляциальные отложения, gmIII–сартанские ледниково-морские отложения, mIII-H– верхнеплейстоцен-голоценовые морские отложения; В–положение профиля на батиметрии

Тем не менее, полученные данные позволили в ряде случаев провести реконструкции ледниковых фациальных обстановок с установлением ансамбля соответствующих форм рельефа и с выявлением четких направлений движения ледника. При этом уточнение границ покровного оледенения было совсем незначительным, что указывает на достоверность палеоледниковых реконструкций по проекту «QUEEN», по крайней мере для его южной границы в Карском море [Svendsen et al., 2004].

Таким образом, проведенные исследования позволили получить новые данные о геологическом строении четвертичного покрова в этом мало изученном районе континентального шельфа РФ, подтвердить присутствие здесь ледникового покрова, хотя и не в таком максимальном распространении, как это было установлено для Северо-Баренцевоморского шельфа. Наряду с этим было показано, что на значительной части шельфа, преимущественно глубоководной, можно фиксировать отсутствие покровного ледника в Сартанское время, а на мелководье вокруг острова Уединения с позднем неоплейстоцене существовал континентальный режим, сопровождавшийся значительным промерзанием осадочных пород.

Экспедиционные работы выполнялись при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках:

- плана-программы экспедиционных исследований МГУ имени М.В. Ломоносова по теме «Особенности четвертичного седиментогенеза, рельефообразования и природной флюидоразгрузки на морском дне в северо-восточной части Карского моря» и «Обучение-через-исследования на Арктическом шельфе»;

- государственного задания Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет) «Дополнительное обеспечение системы образования в области морских наук – подготовка молодого кадрового резерва по научно образовательной программе «Плавучий университет» на основе комплексных исследований морей России и Мирового океана».

Авторы считают приятным долгом выразить благодарность экипажу НИС «Академик Петров», благодаря которому не только удалось выполнить и перевыполнить научную программу, но и комфортно провести время во время экспедиции.

ЛИТЕРАТУРА

Васильев В.В., Вискунова К.Г., Кийко О.А., Козлов С.А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Северо-Карско-Баренцевоморская. Лист Т-41-44 – мыс Желания. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013, 200 с.

Гайнанов В.Г., Поляк Л.В., Гатауллин В.Н., Зверев А.С. Сейсмоакустические исследования следов покровных оледенений в Карском море // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2005. № 1. С. 38-44.

Качурина Н.В., Макарьев А.А., Макарьева Е.М. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серии Северо-Карско-Баренцевоморская и Таймырско-Североземельская. Лист Т-45-48 – м. Челюскин. Объяснительная записка. СПб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013, 568 с.

Рыбалко А.Е., Ахманов Г.Г. 10 лет секции «Морская Геология» на Maresedu: ретроспектива // Труды X Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2021)» Том III Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2021 С. 16-20.

Рыбалко А.Е., Миронюк С.Г., Росляков А.Г., Колюбакин А.А., Соловьева М.Е., Терехина Я.Е., Токарев М.Ю. Новые признаки покровного оледенения в Карском море: мегамасштабная ледниковая линейность в Восточно-Новоземельском желобе // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2020. Выпуск 7. С. 175-181. doi:10.24411/2687-1092-2020-10727

Соловьева М.А., Ахманов Г.Г., Монтели А.И. Новые свидетельства валдайского оледенения в северо-восточной части Баренцевоморского шельфа (материалы TTR-19 и TTR-20) // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2021. Выпуск 8. С. 222-227. doi:10.24412/2687-1092-2021-8-222-227

Svendsen J., Alexanderson H., Astakhov V., Demidov I., Dowdeswell J., Funder S., Gataullin V., Henriksen M., Hjort C., Houmark-Nielsen M., Hubberten H.-W., Ingólfsson Ó., Jakobsson M., Kjaer K., Larsen E., Lokrantz H., Lunkka J., Lyså A., Mangerud J., Stein R. Late Quaternary ice sheet history of Northern Eurasia // Quaternary Science Reviews. 2004. Vol. 23. Is. 11–13. P. 1229-1271. doi: 10.1016/j.quascirev.2003.12.008

SCIENTIFIC EXPEDITION IN THE NORTHERN KARA SEA IN THE FRAME OF PROGRAM OF THE FLOATING UNIVERSITY "EDUCATION THROUGH RESEARCH" (TTR-21): RESULTS AND PROSPECTS

^{1,2,3}Rybalko A.E., ⁴Tokarev M.Yu., ⁴Poludetkina E.N., ⁵Potemka A.K., ⁴Pirogova A.S., ^{1,3}Aksenov A.O., ¹Biryuk M.A., ¹Kudinov A.A., ⁴Bulanova I.A.

¹Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

²VNIOkeangeologiya, St. Petersburg, Russia

³Lomonosov State University Marine Center, Moscow, Russia

⁴Lomonosov State University, Moscow, Russia

⁵SPLIT Ltd., Moscow, Russia

The geological results of scientific expeditionary work in the northern part of the Kara Sea as part of the voyage of the "Floating University of Moscow State University" in 2022 on the R/V "Akademik Petrov" are presented. Information is given on the methodology of work, which provides for advanced geophysical surveys, onboard processing and express interpretation of seismoacoustic and hydroacoustic data, geological sampling and a complex of onboard analytical studies. The main scientific results obtained are presented, including data on the existence of an ice cover in part of the studied underwater area, along with the existence of long-existing marine and glacial-marine basins, as well as areas of continental land drained during the Late Pleistocene regression with convincing examples of the formation of a permafrost zone.

Keywords: *Kara Sea, Floating University, glacial deposits, cryogenic phenomena, submarine valleys, seismoacoustic profiling, multibeam profiling*