

doi: 10.24412/2687-1092-2024-11-321-327



НОВЫЕ ДАННЫЕ О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МОРСКОГО ДНА ПРОЛИВА ВОСТОЧНАЯ СОЛОВЕЦКАЯ САЛМА (БЕЛОЕ МОРЕ)

✉ *Сергеев А.Ю., Фатеев Д.С., Дронь О.В., Григорьев А.Г., Жамойда В.А.*

ФГБУ «Институт Карпинского», Санкт-Петербург, Россия

✉ *sergeevau@yandex.ru*

По результатам геолого-геофизических работ Института Карпинского в 2024 г. в проливе Восточная Соловецкая Салма были установлены особенности геологического строения четвертичных отложений. По интерпретации сейсмоакустических данных с привлечением опубликованных работ предшественников была прослежена кровля дочетвертичных, предположительно, вендских пород; установлены две толщи моренных отложений; локализованы области развития склоновых и газонасыщенных морских отложений голоцена.

Ключевые слова: *сейсмостратиграфия, Невская стадия, отступление ледника, дегляциация, экзогенные геологические процессы, Соловецкие острова*

Введение. В рельефе морского дна на подводном склоне о. Анзерский отчетливо выделяется ряд дугообразных гряд, протяженностью первые километры, шириной от 0,5 до 1 км, и относительной высотой несколько десятков метров. По данным геологического картирования масштаба 1 : 200 000 они сложены моренами ошашковского горизонта последнего оледенения [*Государственная геологическая..., 2012*]. По периферии области развития моренного холмисто-грядового рельефа залегают с перекрытием ледниково-морские образования, образующие на дне маломощный слой отложений, сглаживающих впадины ледникового рельефа. Голоценовые образования, представленные морскими нефелоидными и флювиальными осадками, развиты слабо и приурочены в основном к центральной части впадины пролива Восточная Соловецкая Салма. Опубликованные карты четвертичных образований [*Государственная геологическая..., 2012*] построены преимущественно по малочисленным архивным данным, основанным в основном на грунтовых колонках и ковшовом пробоотборе, выполненным ВСЕГЕИ в 1970-1980-х годах еще в рамках опытно-методических работ по геологической съемке шельфа. Сейсмоакустического профилирования в этом районе ранее не проводилось.

Работы, выполненные Институт Карпинского на акватории Белого моря в проливе Восточная Соловецкая Салма в 2024 году по объекту «Государственный мониторинг состояния недр по территории Российской Федерации в 2023-2025 годах (прибрежно-шельфовые зоны Белого, Баренцева и Балтийского морей)», позволили получить новые геолого-геофизические данные о строении ледникового комплекса отложений на дне Белого моря.

Методика. Проведено непрерывное сейсмоакустического профилирование (НСАП) (100 погонных км) и гидролокация бокового обзора (ГЛБО) (60 погонных км), пробоотбор выполнен на 22 станциях, частично с фототелепрофилированием (рис. 1). Пробоотбор выполнялся бокс-корером. Из-за значительных глубин и высоких скоростей течений для фототелепрофилирования использовалась «Подводная привязная видеосистема» (ООО «Подводная робототехника»), оборудованная видеокамерой Sony Super HAD CCD 1/3".

НСАП выполнялся с использованием аппаратно-программного комплекса SplitMultiSeis, в состав которого входит: многоканальная аналоговая сейсмическая коса, электроискровой источник упругих колебаний (спаркер), система синхронизации и сбора данных, накопитель высокой энергии Jack-2500HP производства GeoDevice. Длительность окна записи составила 500 мс, с мощностью видимых отражений до 90 мс ~ 67 м.

Параллельно использовался параметрический профилограф SES-2000 Compact с частотами зондирующего сигнала 100 и 10 кГц. Длительность окна записи составила 54 мс ~ 50 м с видимой мощностью разреза 20 мс ~ 15 м. На полученных данных наблюдается незначительная наводка от спаркера и ГЛБО. Записи НСАП позволяют оценить изменчивость и крутизну рельефа морского дна, расчленить геологический разрез на различные по инфраструктуре записи сеймотолщи и оценить мощность различных типов отложений. В западной части субширотного профиля выделяется акустически прозрачная зона протяженностью 550 м, которую можно интерпретировать как область развития газонасыщенных грунтов.

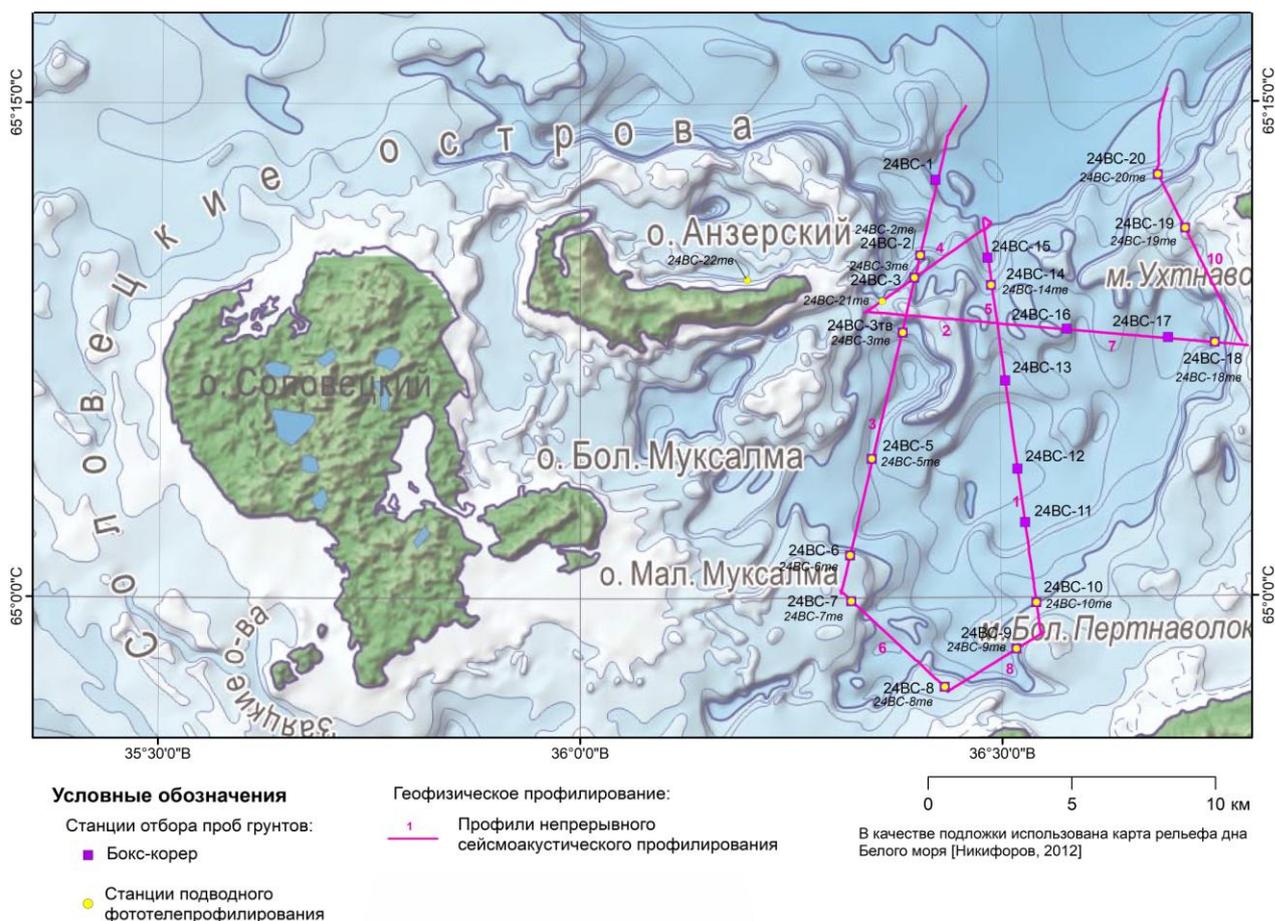


Рис. 1. Схема расположения геолого-геофизических работ Института Карпинского в 2024 г. на акватории Белого моря (пролив Восточная Соловецкая Салма).

НСАП выполнялся с использованием аппаратно-программного комплекса SplitMultiSeis, в состав которого входит: многоканальная аналоговая сейсмическая коса, электроискровой источник упругих колебаний (спаркер), система синхронизации и сбора данных, накопитель высокой энергии Jack-2500HP производства GeoDevice. Длительность окна записи составила 500 мс, с мощностью видимых отражений до 90 мс ~ 67 м. Параллельно использовался параметрический профилограф SES-2000 Compact с частотами зондирующего сигнала 100 и 10 кГц. Длительность окна записи составила 54 мс ~ 50 м с видимой мощностью разреза 20 мс ~ 15 м. На полученных данных наблюдается незначительная наводка от спаркера и ГЛБО. Записи НСАП позволяют оценить изменчивость и крутизну рельефа морского дна, расчленить геологический разрез на различные по инфраструктуре записи сеймотолщи и оценить мощность различных типов отложений. В западной части субширотного профиля выделяется акустически прозрачная зона протяженностью 550 м, которую можно интерпретировать как область развития газонасыщенных грунтов.

Съемка ГЛБО выполнялась с использованием гидролокатора бокового обзора S-Max SM2 (рабочая частота 325 КГц). Ввиду значительной глубины моря (до 100 м) с целью дополнительного заглубления гидролокатора применялось крыло-заглубитель SM2 Wing Depressor. Контроль за длиной вытравленного кабель-троса осуществлялся специализированным кабель-счётчиком SM2 Pulley Sensor. Работы были осложнены сильным подводным течением и, предположительно, термоклинном на глубинах 30-47 м, что привело к существенным помехам на сонограммах за счет интерференции, также на записях присутствует наводка от сейсмоакустического оборудования. Согласно полученным сонограммам, дно исследуемого участка представлено преимущественно равнинными поверхностями, за исключением южной части, где акустическая картина похожа на гряды и песчаные волны.

Результаты. Сейсмостратиграфическое расчленение разреза во многом основано на опубликованных работах по Белому морю [Шлыкова, Тарасов, 2006; Rybalko et al., 2018]. Нижнюю часть сейсмоакустического разреза составляют моноклинально залегающие с пологим погружением на северо-восток породы предположительно венда, кровля которых отчетливо прослеживается по яркому, протяженному практически ровному отражающему горизонту. Перекрывают их с несогласием ледниковые образования позднего неоплейстоцена (рис. 2). Моренные отложения занимают всю изучаемую площадь, покрывая сплошным чехлом дочетвертичные образования. Средняя мощность отложений составляет 20 м. Отдельно по рельефу и увеличению мощности на подводном обрамлении о. Анзерский выделяется конечно-моренный комплекс ледниковых краевых образований. По данным сейсмоакустического профилирования он отчетливо подразделяется на две толщи. Суммарная максимальная мощность двух ледниковых толщ в пределах комплекса по данным сейсмоакустики достигает 80 м. Нижняя, более мощная толща (мощностью до 50 м) – выделяется в цоколе ледникового комплекса; верхняя, менее мощная и более локальная толща (мощностью до 30 м) – с несогласием перекрывает цокольную часть. Внутренние отражающие границы комплекса, по которым проходит несогласие, имеют отчетливые рефлекторы и закономерное чешуйчатое напластование, характерное для надвиговых структур. Отложения верхней ледниковой толщи с налеганием перекрывают нижележащие образования. По направленности залегания рефлекторов на профилях различного направления были определены направления подвижки лопасти ледника.

В сейсмоакустическом разрезе на траверзе о. Бол. Муксалма под двумя толщами морен выделяется слой отложений, имеющих прерывистые отражения и плохую акустическую прозрачность, который также интерпретируется как моренная толща. Не исключено, что это реликты морены предпоследнего оледенения.

Широко развита в разрезе толща параллельно слоистых отложений, заполняющих неровности ледникового рельефа, и перекрывающих его. Они часто выходят на поверхность дна в зонах размыва или перекрыты маломощным слоем (несколько сантиметров) голоценовых осадков. По вещественному составу и характеру акустической записи отложения отнесены к ледниково-морским поздне-неоплейстоценовым образованиям.

По данным НСАП также локально выделены отложения гравитационного ряда. Они представлены преимущественно поверхностными оползневыми телами, приуроченными к склонам моренных гряд, широко развитых в проливе. Мощность оползневых тел по данным НСАП варьирует от 10 до 20 м. Помимо современных оползней выявлены погребенные под слоем голоценового морского нефелоида оползневые образования поздненеоплейстоценового возраста. По результатам сейсмостратиграфической интерпретации было установлено, что оползни находятся в толще ледниково-морских верхне-неоплейстоценовых отложений. По составу ледниково-морские отложения представлены коричневыми полосчатыми плотными глинами и глинистыми песками с раковинами морских моллюсков [Государственная

геологическая..., 2012]. Места выходов на морское дно этих отложений были заверены ковшовым пробоботбором и показали, что в приповерхностных условиях ледниково-морские отложения обводняются и становятся по консистенции мягкопластичными. В условиях, где углы склонов подводных гряд достигают 2° (перепад глубин 50 м на 1,5 км) обводненные глинистые отложения могут сползать (слампинг), что может провоцироваться современными сейсмическими событиями.

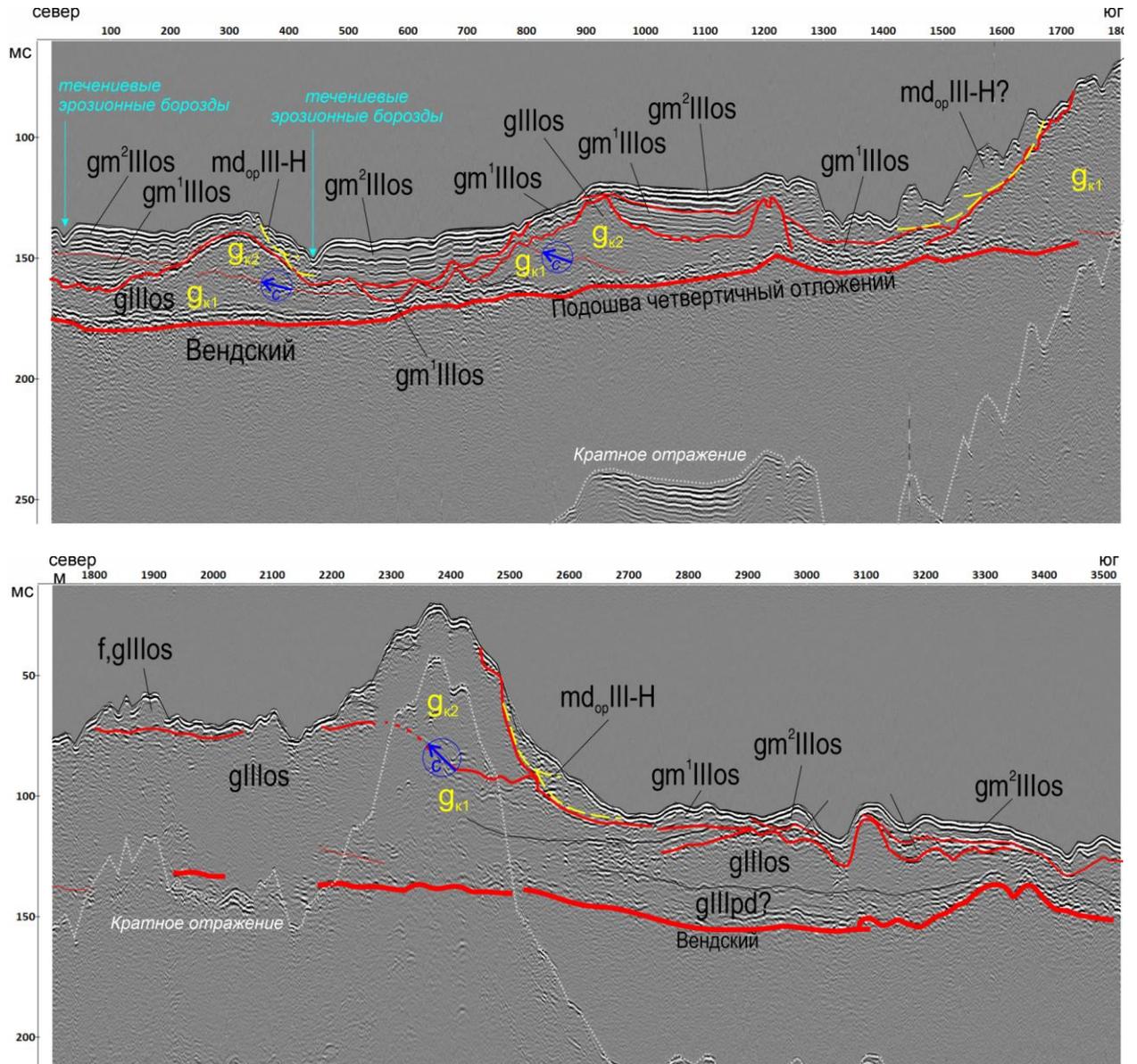


Рис. 2. Фрагменты сейсмоакустического разреза к востоку от о. Анзерский: $g_{IIIpd}?$ – предположительно ледниковые отложения подпорожского горизонта; g_{IIIos} – ледниковые отложения осташковского горизонта; g_{k1} – нижняя конечная морена осташковского горизонта; g_{k2} – верхняя конечная морена осташковского горизонта; gm_{IIIos} – ледниково-морские отложения осташковского горизонта (1 – нижняя толща; 2 – верхняя толща); f, g_{IIIos} – объединенные ледниковые и водно-ледниковые отложения осташковского горизонта; $md_{op III-H}$ – склоновые отложения (оползни).

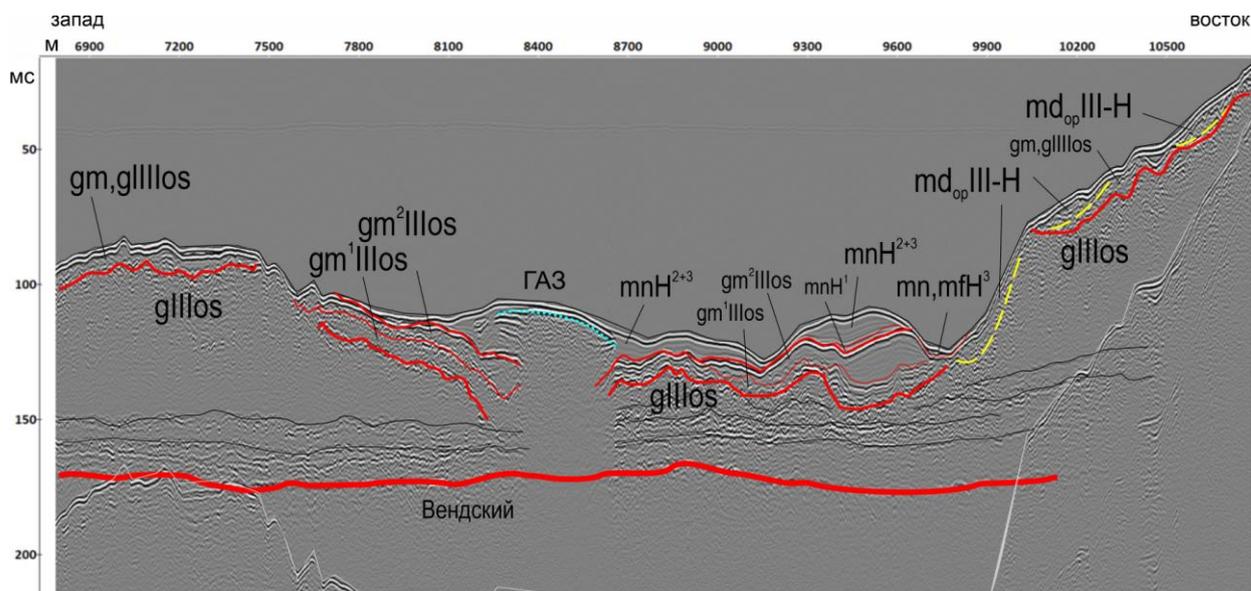


Рис. 3. Фрагменты сейсмоакустического разреза в восточной части пролива Восточная Соловецкая Салма: *glllos* – ледниковые отложения осташковского горизонта; *gmlllos* – ледниково-морские отложения осташковского горизонта (¹ – нижняя толща; ² – верхняя толща); *mnH* – морские нефелоидные отложения (¹ – раннего голоцена; ²⁺³ – среднего и позднего голоцена); *mn, mfh*³ – морские нефелоидные и флювиальные отложения позднего голоцена; *md_{op}III-H* – склоновые отложения (оползни); ГАЗ – зоны газонасыщенных отложений.

В ходе профилирования между о. Анзерский и м. Ухтнавалок (Онежский п-ов) была закартирована область газонасыщенных отложений (рис. 3). По характеру волнового поля сейсмопрофиля и сеймостратиграфической интерпретации газонасыщенные отложения представляют собой нефелоидные образования средней и верхней части голоцена. Представлены эти осадки зеленовато-серыми алевритами, иногда глинистыми, содержащими раковины морских моллюсков и черные стяжения гидротроилита [Зоренко и др., 2013]. На разрезе НСАП мощность голоценовых осадков достигает 20 м. По данным донного пробоотбора с использованием бокс-корера в этом районе приповерхностный слой этих отложений представлен: 0-3 см - бурый текучий алевропелит; 3-18 см – текучепластичный однородный алевропелит зеленоватый с примазками черного рассеянного ОВ и следами ползания червей. Запаха сероводорода не ощущается.

Заключение. Нижнюю часть сейсмоакустического разреза составляют предположительно породы, венда, имеющие моноклинальное залегание с пологим погружением на северо-восток. Сплошным слоем с несогласием перекрывают их ледниковые образования позднего неоплейстоцена. Анализ рельефа морского дна в совокупности с данными интерпретации внутренних структур сейсмоакустических разрезов позволил установить область развития краевых ледниковых образований к востоку от о. Анзерский. Комплекс конечных морен включает в себя две толщи, хорошо разделяемых по внутреннему отражающему горизонту. Элементы залегания отражающих поверхностей показывают локальную зону подвижки ледниковой лопасти со стороны острова. Формирование краевых образований, по региональным представлениям о фазах отступления ледника предположительно совпадает с Невской стадией отступления края ледника [Ekman, Iljin, 1991; Репкина и др., 2017; Репкина и др., 2020]. По надвиговым структурам верхней ледниковой толщ предполагается локальная подвижка, которая привела к образованию повторного перемещения моренных отложений с последующим их отложением. Широко развита в разрезе толща параллельно слоистых ледниково-морских поздне-неоплейстоценовых отложений, заполняющих неровности ледникового рельефа и перекрывающих его. По данным НСАП также локально выделены отложения гравитационного ряда. Они представлены преимущественно поверхностными

оползневыми телами, приуроченными к склонам моренных гряд и находятся в толще ледниково-морских верхне-неоплейстоценовых отложений, обладающих пластичными свойствами. Зона развития современных морских голоценовых осадков крайне мала и локализована между о. Анзерский и м. Ухтнавалок (Онежский п-ов). Наибольшая мощность голоценовых осадков достигает 20 м.

ЛИТЕРАТУРА

Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000, Издание второе, Онежская серия, Q-37-XXV, XXVI (Лопшеньга). Карта четвертичных образований. Черемхина Г.М., Рыбалко А.Е. Роснедра, ЗАО «Архангельскгеолразведка» 2012.

Никифоров С. Л., Кошель С. М., Фроль В. В. Цифровая модель рельефа дна Белого моря // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2012. № 3. С. 86-92.

Репкина Т. Ю., Зарецкая Н. Е., Субетто Д. А. и др. Морфодинамика берегов северо-запада Онежского полуострова Белого моря в голоцене. Губа Конюхова // Тр. КарНЦ РАН. 2017. № 8. С. 1–19. doi: 10.17076/bg717

Репкина Т. Ю., Романенко Ф. А., Лудикова А. В., Зарецкая Н. Е. Северо-западные берега Онежского полуострова Белого моря в голоцене: условия развития, динамика, хронология // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2020. Т. 84, № 6. С. 888–904. doi: 10.31857/S2587556620060096

Шлыкова В. В., Тарасов Г. А. Особенности сейсмоакустического строения кайнозойских отложений Белого моря // Доклады РАН. 2006. Т. 409. №4. С. 518–521.

Ekman I., Iljin V. Deglaciation, the Young Dryas end moraines and their correlation in Russian Karelia and adjacent areas // *Glacial deposits in North-east Europe*. Balkama: Rotterdam, 1995. P. 195–209.

Rybalko A. E., Zhuravlyov V. A., Semyonova L. R., Tokarev M. Yu. Development History and Quaternary Deposits of the White Sea Basin. Sedimentation Processes in the White Sea. The White Sea Environment Part II. 2018. P. 135–165.

NEW DATA ON THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE QUATERNARY SEDIMENTS OF THE SEA BOTTOM OF THE EASTERN SOLOVETSKAYA SALMA STRAIT (WHITE SEA)

Sergeev A.Yu., Fateev D.S., Dron O.V., Grigoriev A.G., Zhamoida V.A.

Karpinsky Russian Research Geological Institute, St. Petersburg, Russia

Based on the results of geological and geophysical work by the Karpinsky Institute in 2024, the features of the geological structure of Quaternary deposits were established in the waters of the Eastern Solovetskaya Salma Strait. Based on the interpretation of high-resolution seismic data using published works, the roof of pre-Quaternary, presumably Vendian rocks was traced; two strata of moraine deposits were established; the areas of development of slope and gas-saturated marine deposits of the Holocene were localized.

Keywords: *seismic stratigraphy, Neva stages, deglaciation, exogenous geological processes, Solovetsky Islands*

REFERENCES:

Ekman I., Iljin V. Deglaciation, the Young Dryas end moraines and their correlation in Russian Karelia and adjacent areas // *Glacial deposits in North-east Europe*. Balkama: Rotterdam. 1995. P. 195–209.

Nikiforov S.L., Koshel S.M., Frol V.V. Digital model of the bottom relief of the White Sea // *Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography*. 2012. No. 3. pp. 86-92. (In Russ.).

Репкина Т.Ю., Романенко Ф.А., Лудикова А.В., Зарецкая Н.Е. The Northwestern Shores of the Onega Peninsula of the White Sea in the Holocene: Development Conditions, Dynamics, Chronology //

Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya. 2020. Vol. 84, No. 6. P. 888-904. doi: 10.31857/S2587556620060096

Repkina T.Yu., Zaretskaya N.E., Subetto D.A. et al. Morphodynamics of the shores of the northwest of the Onega Peninsula of the White Sea in the Holocene, Lip Konyukhov // Tr. Karelskogo Nauchn. Tsentra Akad. Nauk, 2017, No. 8, pp. 1–19. doi: 10.17076/bg717

Rybalko A. E., Zhuravlyov V. A., Semyonova L. R., Tokarev M. Yu. Development History and Quaternary Deposits of the White Sea Basin. Sedimentation Processes in the White Sea. The White Sea Environment Part II. 2018. P. 135–165.

Shlykova V.V., Tarasov G.A. Specific features of the seismoacoustic structure of cenozoic deposits in the White sea // Doklady Earth Sciences. 2006. Vol. 409. № 6. P. 871-874. doi: 10.1134/S1028334X06060079

State Geological Map of the Russian Federation, scale 1:200,000, Second Edition, Onega Series, Q-37-XXV, XXVI (Lopshenga). Map of Quaternary Deposits. Cheremkhina G.M., Rybalko A.E. Rosnedra, ZAO Arkhangel'skgeolrazvedka. 2012.