

doi: 10.24412/2687-1092-2024-11-301-310



ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДОННЫХ ГРУНТОВ НА УЧАСТКЕ СЕВЕРО-КАРСКОГО ШЕЛЬФА В РАЙОНЕ ОСТРОВА УЕДИНЕНИЯ

✉ Рокос С.И.¹, Костин Д.А.²

¹АО «Арктические Морские Инженерно-Геологические Экспедиции», Мурманск, Россия

²ОФГАОУ ВО «Мурманский Арктический Университет», Мурманск, Россия

✉ RokosSI@rusgeology.ru

В 2019 г. в северной части шельфа Карского моря на участке, расположенном возле острова Уединения, были выполнены инженерно-геологические изыскания. Эти изыскания включали сейсморазведку методами высокого и сверхвысокого разрешения, сейсмоакустическое профилирование, а также бурение. В результате проведенных работ было установлено, что в верхней части разреза до глубины 100 м от дна развиты песчано-глинистые нижнемеловые альбские отложения, а также четвертичные образования, представленные глинисто-суглинистыми морскими голоценовыми илами, морскими аллювиально-морскими каргинскими мягкопластичными глинами и морскими казанцевскими тугопластичными суглинками. В докладе представлены характеристика выделенных сейсмических комплексов, данные о гранулометрическом составе, физико-механических свойствах и засоленности вскрытых скважинами отложений.

Ключевые слова: *альбские отложения, донные грунты, засоленность грунта, нижнемеловые отложения, Северо-Карский шельф, сейсмостратиграфия, физико-механические свойства, четвертичные отложения*

Введение. Строение и состав отложений верхней части разреза (до глубины 100 м от поверхности дна) северной части Карского моря по состоянию на сегодняшний день остаются слабоизученными. Данные о строении осадочной толщи основаны на материалах сейсмоакустического профилирования, а о ее составе – на материалах пробоотбора с помощью грунтовых трубок. В 2019 г. здесь на одном из участков (площадке) с размерами в плане 3 x 3 км силами АМИГЭ были впервые проведены детальные инженерно-геологические изыскания. Материалы этих изысканий позволили выполнить расчленить верхний интервал осадочной толщи на сейсмостратиграфические и стратиграфо-генетические комплексы.

Использованные материалы. В составе изыскательских работ были выполнены многолучевое эхолотирование, гидролокация бокового обзора, магнитометрия, сейсморазведка высокого и сверхвысокого разрешения, одноканальное сейсмоакустическое профилирование, инженерно-геологическое бурение и статическое зондирование.

Сейсморазведка высокого разрешения (СВР) проводилась с помощью пневматического источника и приемной 192-канальной линии длиной 1200 м. Сейсморазведка сверхвысокого разрешения (ССВР) выполнена с помощью электроискрового источника мощностью 0.5 – 5.0 КДж и 48-канальной твердотельной приемной линии. Частота регистрируемого сигнала 300 – 800 Гц. Для непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП) применялся высокоразрешающий поддонный профилограф X-Star (EdgeTech) с частотно-модулированным сигналом 2 – 16 КГц. Профилограф буксировался на глубине 5 – 6 м над поверхностью дна.

Инженерно-геологическое бурение и статическое зондирование проведены с борта научно-исследовательского судна (НИС) «Бавенит» (судовладелец АМИГЭ). Диаметр бурения составлял 215.9 мм. Керна отбирался опережающим забоем гидравлическим вдавливаемым пробоотборником «Orca-90 piston sampler» (Geomil B.V.) с грунтоносом в виде тонкостенного стального стакана с внутренним диаметром 72 мм.

Из отобранного керна были выполнены определения гранулометрического состава, карбонатности, содержания органического вещества, комплекса физико-механических свойств (плотность, влажность, показатели пластичности, сопротивления недренированному сдвигу и др.), а также засоленности, водородного показателя и состава обменного ионного комплекса порового раствора. Определения выполнялись в соответствии с действовавшими в то время государственными стандартами.

Местоположение и общая характеристика площадки. Площадка изысканий расположена в северной части Карского моря в 32 км (около 19 миль) к юго-востоку от побережья о. Уединения (рис. 1). Район находится на южном склоне Центрально-Карской возвышенности. Глубины моря в границах района площадки изменяются от 30 до 60 м. По данным эхолотирования на самой площадке глубина моря достигает 62 м.

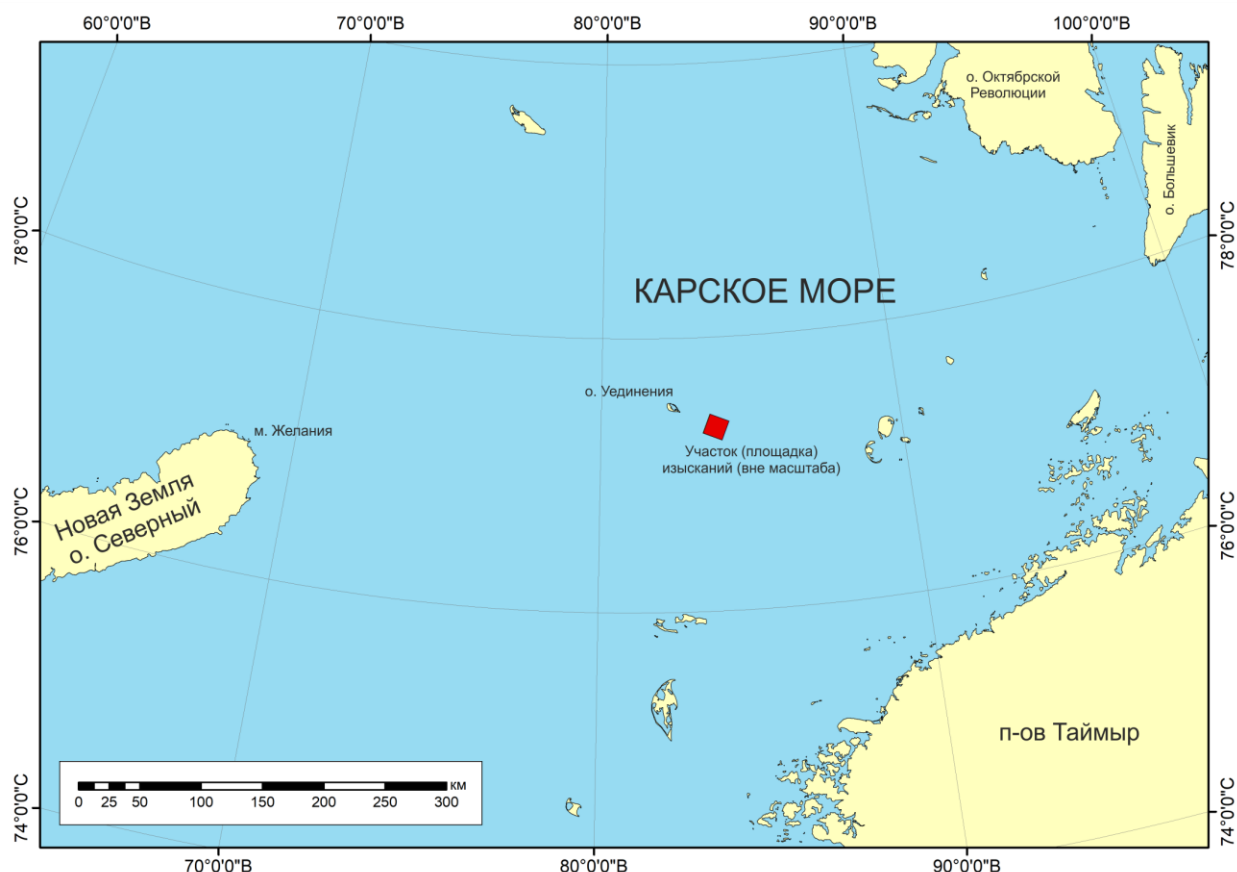


Рис. 1. Местоположение площадки.

В структурно-тектоническом плане район площадки изысканий расположен в границах Северо-Карской плиты на восточном склоне Центрально-Карского поднятия. Согласно геологической карте листов Т-41-44 доплиоценовый субстрат представлен здесь меловым сейсмостратиграфическим комплексом (ССК) ⁵К (В - Д). На о. Уединения меловые отложения обнажаются на дневной поверхности. Здесь они представлены в основном нижнемеловыми альбскими (K_{1al}) песками и песчаниками с прослоями конгломератов и углефицированных песчаников [Васильев, Вискунова и др., 2013].

Результаты сейсморазведки и сейсмоакустического профилирования. На временных разрезах СВР в интервале глубин от поверхности до 1 сек (около 1200 м) выделено 6 ССК различающихся по структуре рисунка записи (рис. 2).

Временные разрезы СВР, были прокоррелированы со стратифицированными сейсмогеологическими разрезами по профилям сейсморазведки, проходящими вблизи площадки изысканий [Драган-Суцова и др., 2013]. В результате сопоставления положения в разрезе, мощностей и акустической структуры в интервале от поверхности до глубины 1

сек. на площадке изысканий были выделены следующие ССК: средне-верхнедевонский ($^sD_{2-3}$), карбон-пермский (^sC-P), триасовый (sT), юрский (sJ), меловой (sK) и нерасчленяемый мел-четвертичный (^sK+Q).

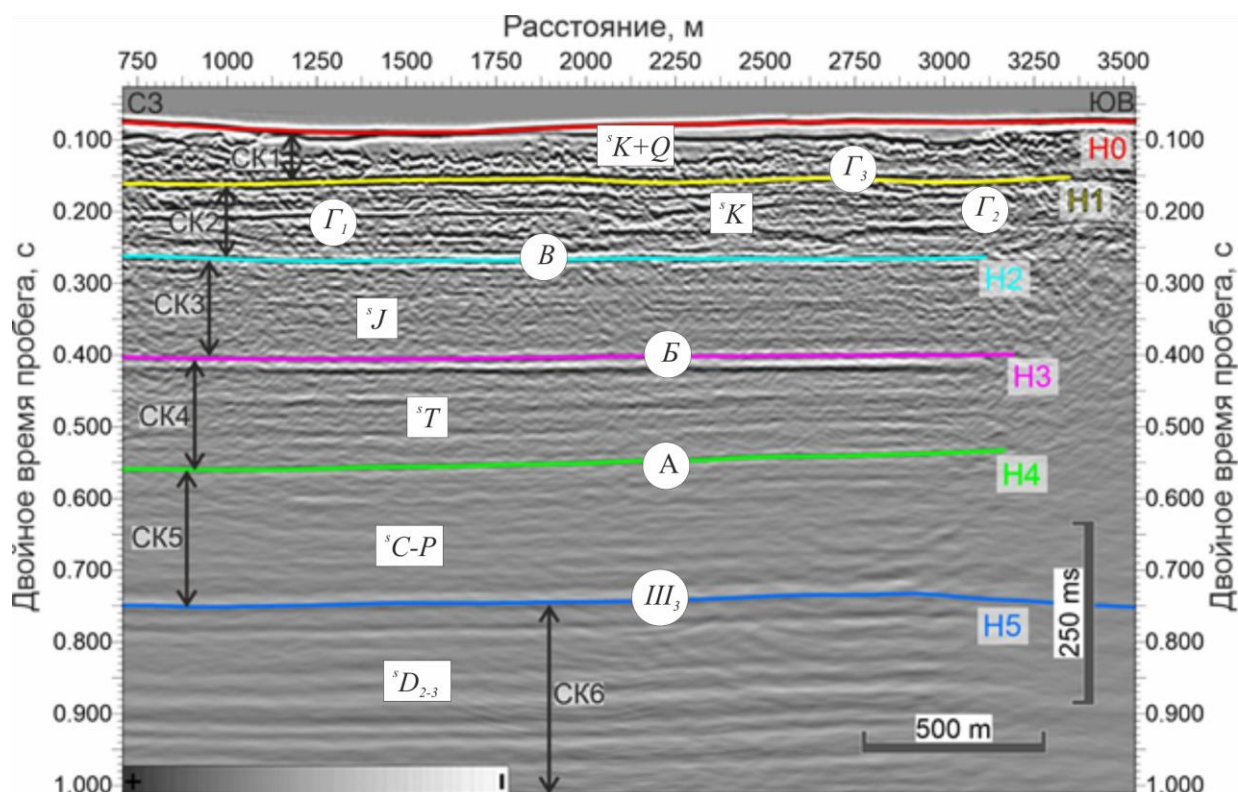


Рис. 2. Сеймостратиграфия верхней части осадочной толщи на временном разрезе СВР.

На временных разрезах ССВР в интервале глубин от поверхности дна до 0.2 – 0.3 сек (около 30 – 45 м) выделены три сейсмических толщи (рис. 3). Маломощная верхняя сеймотолща, сопоставляемая нами с четвертичными отложениями, характеризуется рябисто-слоистой структурой. Отражающий горизонт D_0 , соответствующий ее подошве, рассматривается как верхнее региональное несогласие. Залегающая ниже средняя толща отличается преимущественно рябистой структурой рисунка сейсмической записи. При этом здесь на фоне рябистой структуры просматриваются прерывистые достаточно протяженные оси синфазности. Рябистость обусловлена многочисленными дифракциями. Рябистость рисунка сейсмической записи и дифракционные оси связаны, вероятно, с наличием крупнообломочных включений.

Эта толща коррелируется с нижнемеловыми альбскими образованиями (K_{1al}). Нижняя толща (sK) отделяется от верхней отражающим горизонтом, который мы проиндексировали как Γ_3 .

На временных сейсмоакустических разрезах НСП в диапазоне глубин от поверхности дна до 0.10 – 0.15 сек (около 7 – 12 м) прослеживаются две сейсмические толщи (рис. 4), формирующие четвертичный покров. Верхняя толща, рассматриваемая как голоценовый комплекс (mH), заполняет палеодепрессии различного масштаба. Внутри крупных палеодепрессий в данной толще прослеживается довольно четкая акустическая слоистость. От подстилающих образований она отделяется отражающим горизонтом E_2 , имеющим облик эрозионного несогласия.

Предполагается, что палеодепрессии, заполненные голоценовыми осадками сеймотолщи I, были заложены в сартанское время.

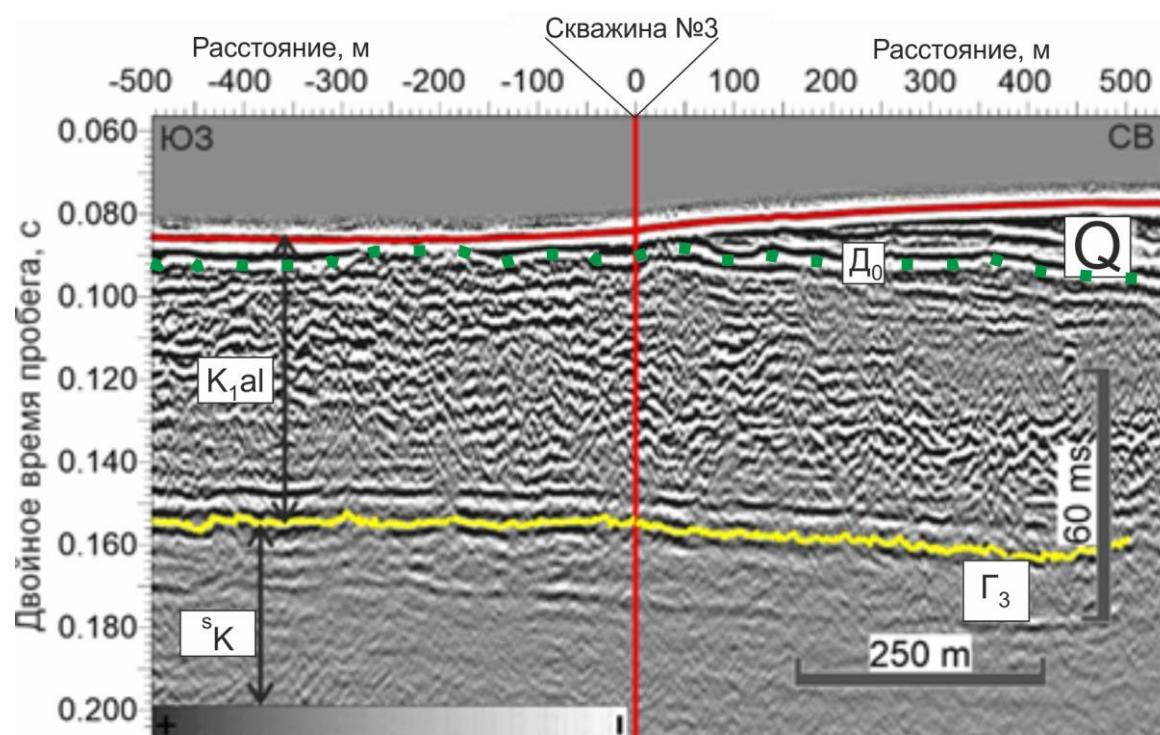


Рис. 3. Сейсмостратиграфия верхней части осадочной толщи на временном разрезе СВР.

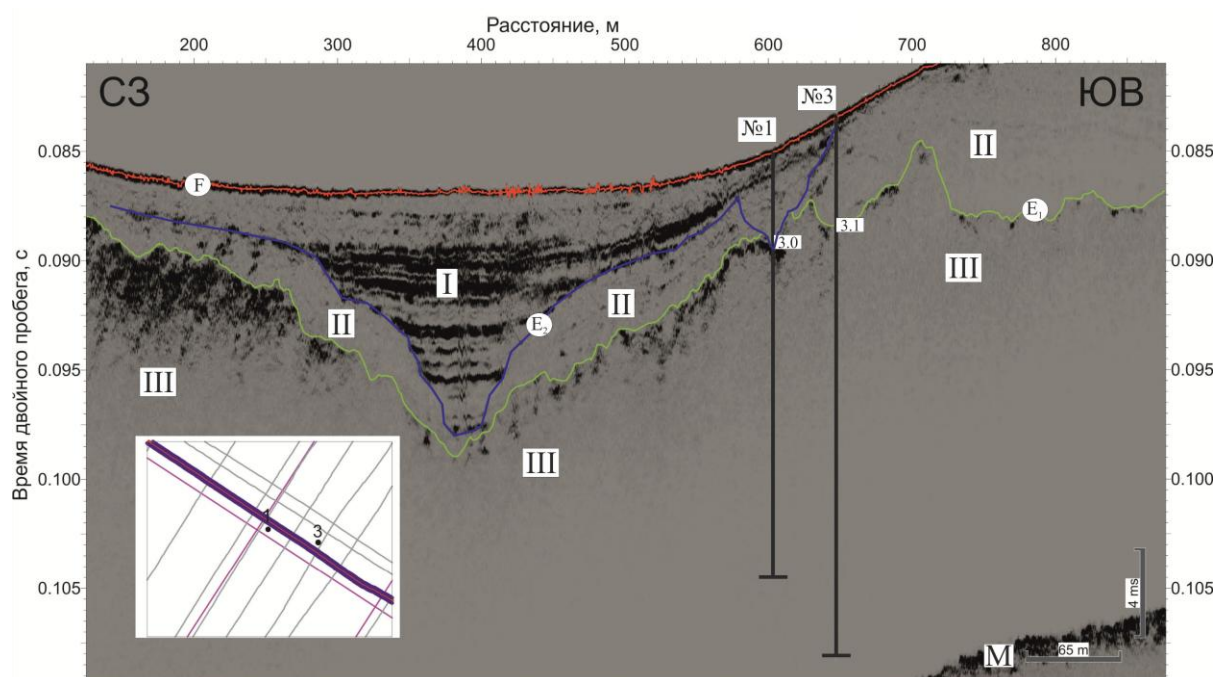


Рис. 4. Сейсмостратиграфия верхней части осадочной толщи на временном разрезе НСП
Сейсмические толщи: I – голоценовые осадки (тН), II – каргинская толща (т, атП³kr), III – морские казанцевские (тП¹kz) и нижнемеловые альбские отложения (K₁al). Отражающие горизонты: F- поверхность дна, E₂- подошва толщи голоценовых осадков, E₁- подошва каргинских глин, M- кратные отражения.

Нижняя толща, включает каргинские морские-аллювиально-морские осадки (т, атП³kr). Данная толща представлена акустически прозрачными образованиями, внутри которых местами прослеживается нечеткая прерывистая пологоволнистая

слоистость (рис. 5). Такая акустическая структура весьма характерна для каргинских отложений юго-восточной части Карского моря.

Подосва данной толщи соответствует отражающему горизонту E_1 . Рельеф этого горизонта – шероховатый, неровный. Глубже него в толще казанцевских и нижнемеловых образований сейсмический сигнал профилографа не распространяется.

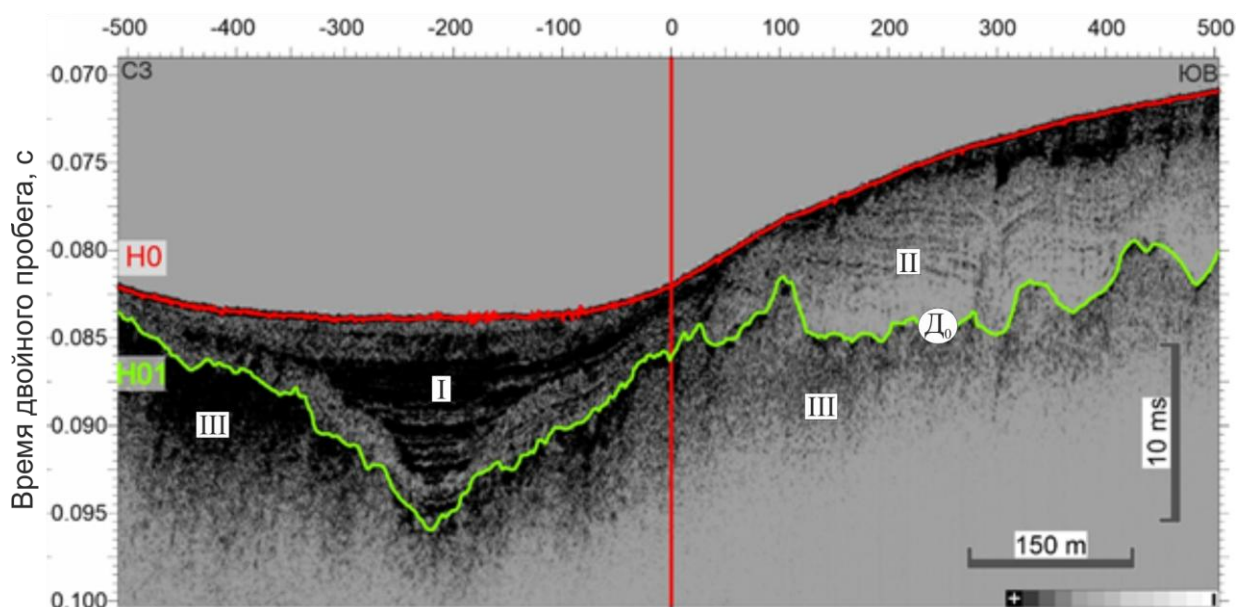


Рис. 5. Акустическая пологоволнистая слоистость в толще казанцевско-каргинских отложений (сейсмотолща II) на временном разрезе НСП. Условные обозначения и подписи см. на Рис. 4.

Вертикальная красная линия- геометрический центр площадки.

В работе [Гусев и др., 2012] толщи с прозрачной и/или пологоскладчатой акустической структурой, развитые в глубоководной части Северо-Карского шельфа, отнесены к морским каргинско-сартанским осадкам. Эта возрастная оценка достаточно близка к нашей.

Следует отметить, что в верхней части осадочного разреза на временных разрезах СВР, ССВР и НСП часто наблюдаются зоны потери сейсмической корреляции, амплитудные аномалии и обращение фаз отражающих границ, что связано с присутствием свободного газа.

Результаты бурения. Всего на площадке было пробурено две инженерно-геологических скважины, вскрывших толщу донных грунтов на глубину 20.7 и 27.5 м (рис. 2). Скважины были заложены в центре площадки, расстояние между ними около 50м.

Первыми в разрезе скважины №1 залегают неслоистые довольно однородные зеленовато-серые суглинистые илы с темно-серыми до черного гнездами и линзами, насыщенными гидротроилитом с включениями раковинного материала. В подошве слоя отмечаются прослойки песка. Мы относим эти илы к голоценовым нефелоидным морским осадкам (mH). Мощность илов составляет 3 м.

На временных разрезах НСП этим илам соответствует слоистая сейсмотолща I, заполняющая впадины в кровле подстилающих образований (рис. 5). Скважина №1 была заложена над палеодепрессией, заполненной этими осадками. В скважине №3, расположенной за пределами этой и других палеодепрессий, рассматриваемые образования выклиниваются.

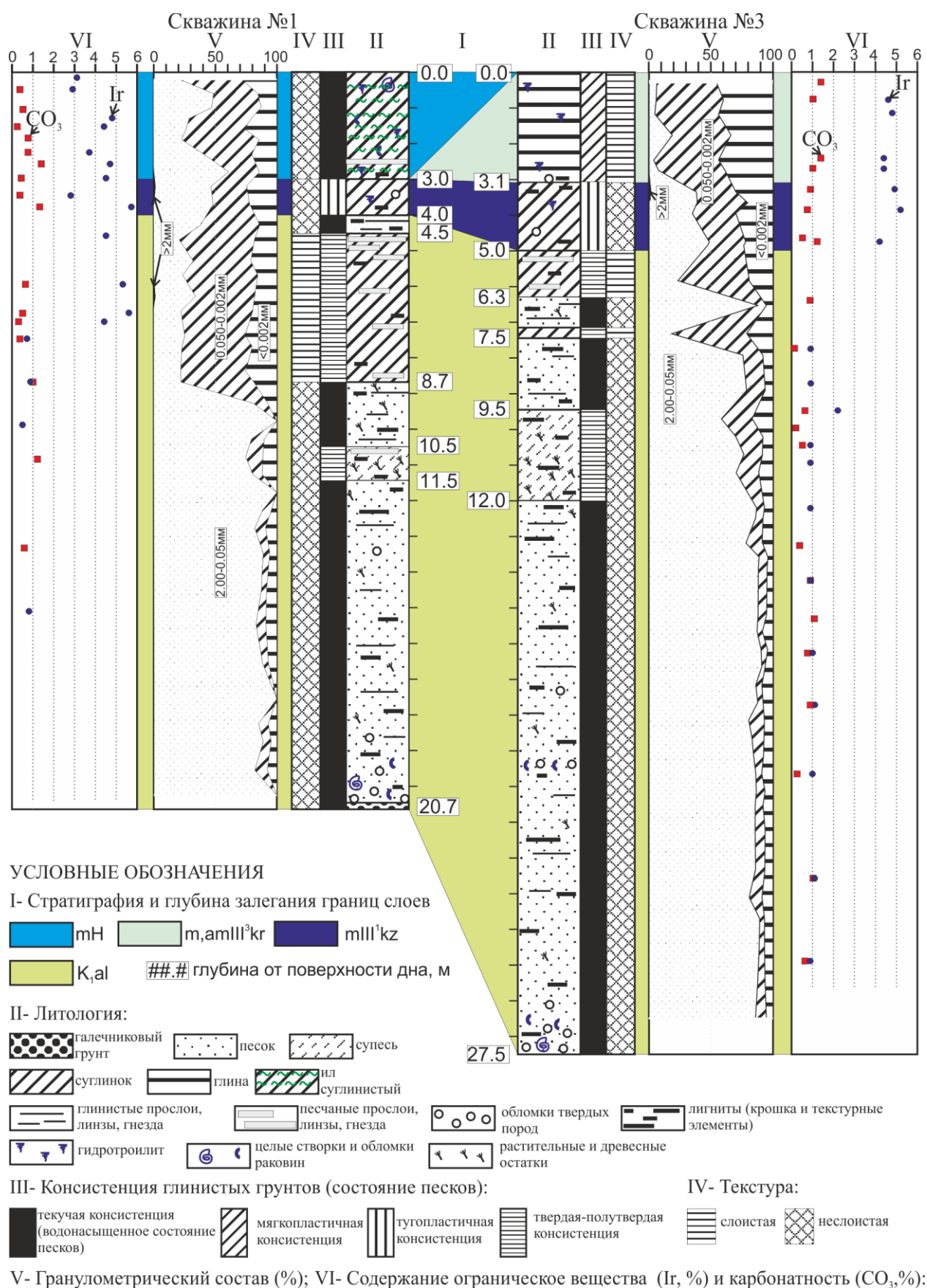


Рис. 6. Корреляция колонок скважин.

В разрезе скважины №3 первыми от поверхности залегают морские, аллювиально-морские каргинские (m,amIII³kr) полосчато-слоистые мягкопластичные глины мощностью

3.1 м (в соответствии с [Унифицированная схема, 2000]). Окраска глин изменяется от коричневатато-серой в кровле до зеленоватато-серой в подошве. Полосчато-слоистая текстура обусловлена неравномерным чередованием с шагом 0.5 – 2.5 см тонких (1–2 мм) черных слоев, насыщенных гидротроилитом, а также коричневатых и зеленоватых полос с шагом 2–10 мм (рис. 7в). Слоистость (полосчатость) в основном горизонтальная, местами перемятая конвolutная. Также встречается редкая угольная (лигнитовая) крошка. Подобный состав и структурно-текстурный облик весьма характерны для морских, аллювиально-морских каргинских глинисто-суглинистых отложений южной части Карского моря.

Контакт в керне с подстилающими суглинками четкий и резкий (рис. 7б). На поверхности контакта встречается единичная галька.

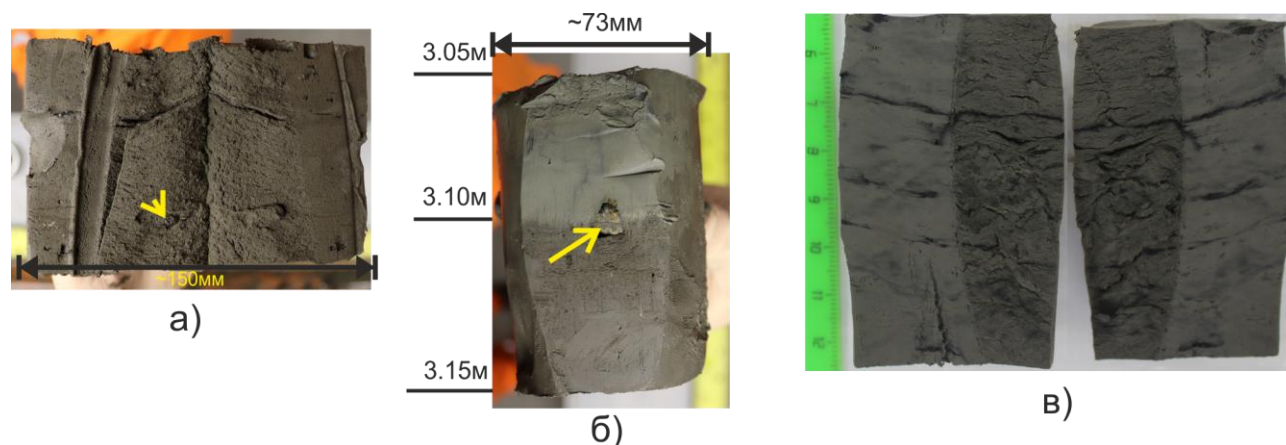


Рис. 7. Облик образцов из четвертичных отложений

- а) казанцевские массивные тугопластичные суглинки (скважина №3, интервал 4.5 – 5.0 м), единичная галька указана желтой стрелкой.
- б) контакт каргинских глин с подстилающими казанцевскими суглинками (скважина №3, интервал 3.05 – 3.15 м), на контакте единичная галька (указана желтой стрелкой).
- в) каргинские мягкопластичные полосчато-слоистые глины с тонкими черными прослоями гидротроилита (скважина №3, интервал 2.6 – 2.8 м).

На временных разрезах НСП (рис. 4) данные образования входят в состав сейсмической толщи II с прозрачной и/или пологоскладчатой акустической структурой. В скважине №1 эти отложения выклиныны, т.к. в месте ее заложения рассматриваемая толща прорезана палеодепрессией на полную мощность.

Суглинистые илы в разрезе скважины №1 и мягкопластичные глины в скважине №3 подстилаются коричневатато-серыми массивными суглинками с редкими включениями гальки и гравия твердых пород, а также лигнитовой крошки (рис. 7а). Мощность данных образований составляет в разрезе скважины №1 - 1.0 м, в скважине №3 - 1.9 м. По своему составу, физико-механическим свойствам и структурно-текстурному облику эти отложения коррелируются с казанцевскими морскими осадками (mIII¹kz) южной части Карского моря.

Характерной особенностью развитых здесь четвертичных отложений является относительно высокое содержание органического углерода, достигающее 4–6% (рис. 6). Вероятно, это обусловлено присутствием лигнитовой крошки, переотложенной из подстилающих нижнемеловых образований. Содержание карбонатов при этом в основном не превышает характерных для осадков Западно-Арктического шельфа 1–2%.

Глубже по разрезу развита мощная нижнемеловая альбская толща, представленная серыми, светло-серыми до белесого, неслоистыми, плотными, мелкими и пылеватыми песками с включениями прослоев и обломков лигнитов (рис. 8), гравием твердых пород. В песках отмечается значительная примесь пылеватых (0.050–0.002 мм) и глинистых (<0.002 мм) частиц достигающая 10–20% (рис. 6).

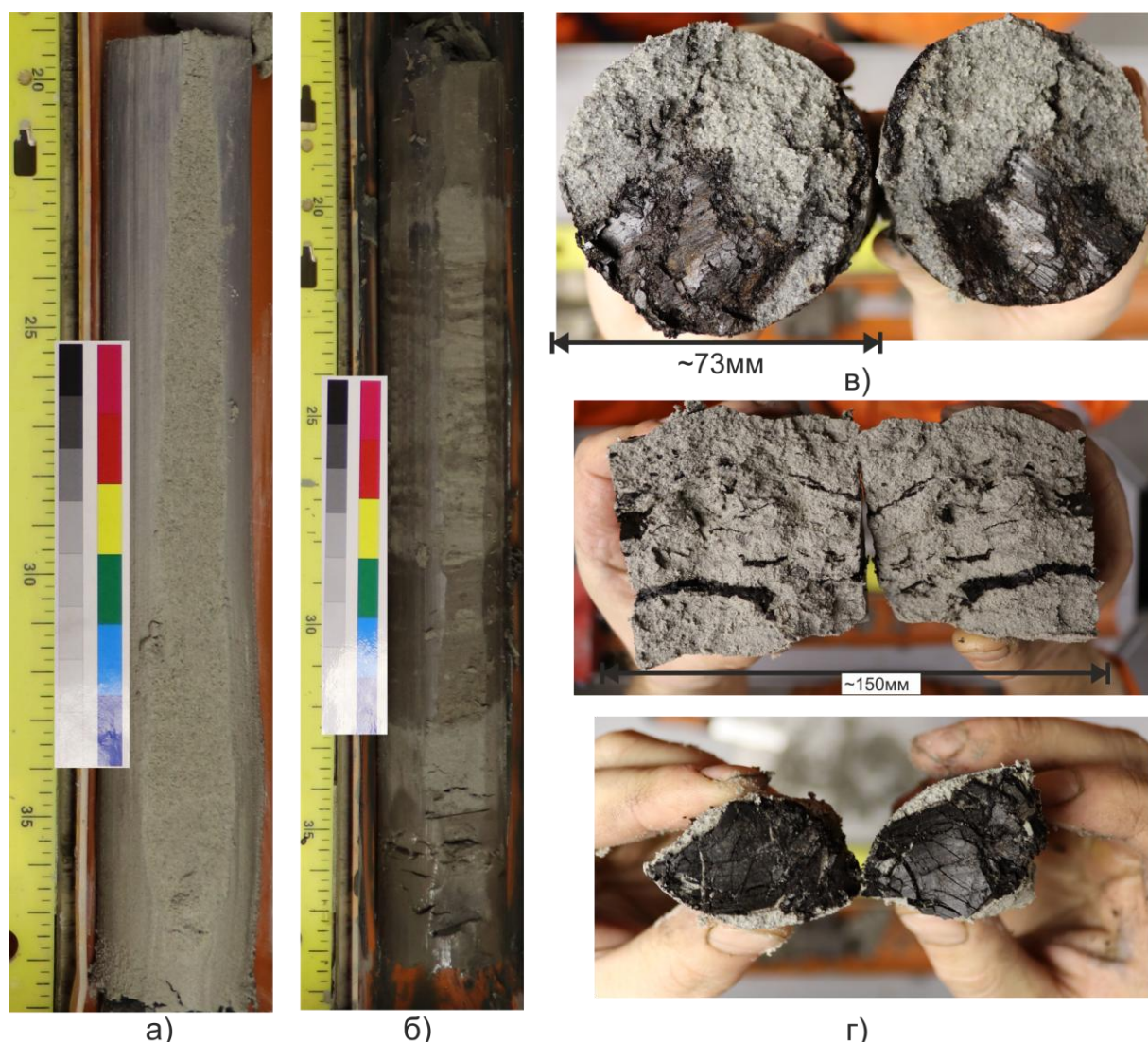


Рис. 8. Облик альбских нижнемеловых отложений в керне и образцах
 а) светло-серые плотные пылеватые пески (скважина №3, интервал 21.0 – 22.0 м)
 б) коричневато-серые твердые слоистые суглинки (скважина №1, интервал 4.5 – 5.0 м)
 в) (скважина №3, интервал 11.5 – 12.0 м) и г) (скважина №3, интервал 8.5 – 9.0 м) – включения и прослойки лигнитов в песках.

В подошве вскрытого бурением интервала развиты крупногалечные образования, обуренные фрагменты которых были подняты в керне. Вероятно, эти обломки формируют галечные пропластки в нижних частях вскрытых бурением интервалов. Также здесь присутствует раковинный материал, растительные остатки и торф.

Важно отметить, что аналогичные по цвету и составу пески обнажаются в береговых обрывах на о. Уединения [Васильев и др., 2013; Герасимов, 1936]. Здесь эти образования были также отнесены к нижнемеловым альбским отложениям (K_{1al}).

Кроме того, в песках встречаются пропластки твердых супесей и суглинков мощностью от 1.0–1.5 до около 4.0 м. Супесчано-суглинистые отложения в основном слоистые. Слоистость неравномерная тонкая и определяется в основном чередованием светло-серых слойков песчано-пылеватого состава, отчетливо выделяющихся на фоне более темноокрашенного глинисто-суглинистого материала.

Вскрытые скважинами в границах площадки альбские отложения характеризуются низкой степенью литификации. Признаков кристаллизации и цементации в них не наблюдается. Супесчано-суглинистые разности, несмотря на свою твердую консистенцию, довольно гидрофильны и быстро размокают в воде. Значения скоростей

распространения упругих волн до глубины 0.25–0.30 сек (около 260–320 м) не превышают 2200 м/с, что также говорит о низкой степени литификации данных образований.

Характерной особенностью альбских отложений является относительно высокая щелочность. Значения водородного показателя (рН) составляют здесь около 9.0, достигая в отдельных интервалах 9.4–9.5. При работе с образцами из этих грунтов было замечено, что происходит разъедание кожного покрова на незащищенных руках сотрудников. Кроме того, при замачивании в пресной воде в ходе ряда лабораторных опытов наблюдалась самопроизвольная цементация. Суглинисто-супесчаные разности альбской толщи отличаются повышенным содержанием органического материала (до 4–6%). Вероятно, это, также, как и в четвертичных отложениях, связано с присутствием лигнитового материала. В песках содержание органического вещества значительно ниже.

Выводы. По материалам СВР и ССВР в геологическом строении верхней части разреза до глубины 1 сек (около 1200 м) площадки (участка) изысканий принимают участие средне-верхнедевонский ($^{\text{D}}_{2-3}$), карбон-пермский ($^{\text{C-P}}$), триасовый ($^{\text{T}}$), юрский ($^{\text{J}}$), меловой ($^{\text{K}}$) и нерасчленяемый мел-четвертичный ($^{\text{K+Q}}$) комплексы.

На временных разрезах ССВР выделяется комплекс меловых отложений ($^{\text{K}}$) со слоистой акустической структурой, перекрываемый толщами нижнемеловых альбских образований с рябисто-слоистым рисунком сейсмической записи и маломощным четвертичным покровом. Мощность четвертичных отложений в основном не более 10 м.

В интервале осадочного разреза, вскрытом бурением (до 20.7–27.5 м от поверхности дна), выделяются нижнемеловые альбские ($\text{K}_{1\text{al}}$) и четвертичные образования. Отложения альба представлены светло-серыми песками с пропластками слоистых суглинков и супесей, а также включениями лигнитов.

На временных разрезах ССВР в толще альба с рябисто-слоистой акустической структурой отмечаются амплитудные аномалии, обращение фаз отражающих границ и латеральные зоны потери корреляции, обусловленные присутствием свободного газа. Также здесь наблюдаются многочисленные дифракционные оси, связанные с наличием крупнообломочного материала.

В составе четвертичной толщи выделены морские голоценовые суглинистые илы (mH), заполняющие сартанские палеодепрессии в кровле подстилающих толщ, а также полосчато-слоистые морские, аллювиально-морские мягкопластичные глины (m,amIII³kr) и морские казанцевские (mIII¹kz) массивные тугопластичные суглинки. Каргинские глины формируют на временных разрезах НСП акустически прозрачную толщу, в которой иногда прослеживается характерная пологоволнистая слоистость.

ЛИТЕРАТУРА

Васильев В.В., Вискунова К.Г., Кийко О.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.

Герасимов И.Ф. Об острове «Уединение» // Известия Государственного Географического общества. 1936. Том 68. Вып. 2. С. 246–255.

Гусев Е.А., Шарин В.В., Дымов В.А. и др. Новые данные о строении верхних горизонтов осадочного чехла северной части Карского шельфа // Разведка и охрана недр. 2012. № 8. С. 87–90.

Дараган-Суцкова Л.А., Петров О.В. и др. Особенности геологического строения Северо-Карского шельфа по сейсмическим данным // Региональная геология и металлогения. 2013. № 54. С. 5–16.

Унифицированная региональная стратиграфическая схема четвертичных отложений Западно-Сибирской равнины. Ред. В.С.Волкова, А.Е.Бабушкин. Новосибирск, Изд-во СНИИГГиМС. 2000, 64 с.

GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE UPPER PART OF THE SECTION AND PHYSICAL, STRENGTH AND DEFORMATION PROPERTIES OF BOTTOM SOILS IN THE REGION OF THE NORTH KARA SHELF IN THE AREA OF THE UEDINENIYA ISLAND

Rokos S.I.¹, Kostin D.A.²

¹SC "Arctic Marine Engineering-Geological Expeditions" (AMIGE), Murmansk, Russia

²FSAEI HE "Murmansk Arctic University" (MAU), Murmansk, Russia

In 2019, in the northern part of the Kara Sea shelf, in an area located near Uedineniya Island, engineering and geological surveys were carried out. These activities included seismic survey using high and ultra-high resolution methods, seismoacoustic profiling, and drilling. As a result of the work, it was determined that in the upper part of the section to a depth of 100 m from the seabed, sandy-clay lower Cretaceous Albian sediments are developed, as well as Quaternary formations represented by marine Holocene very soft (liquid) clay-silty clays, marine-alluvial-marine Karginsky soft to firm clays and marine Kazantsevo firm-stiff lean clays. The report presents the characteristics of the identified seismic complexes, data on the grain size composition, physical, strength and deformation properties, salinity of the sediments exposed by the boreholes.

Keywords: *Albian sediments, bottom soils, soil salinity, lower Cretaceous sediments, North Kara shelf, seismic stratigraphy, Quaternary sediments, soil properties*

REFERENCES:

- Vasiliev V., Viskunova K. et al. State Geological Chart of the Russia (1:1,000,000, the 3rd gen.). The North Kara - Barents Series; Sheet T-41-44- the Jelaniya Peninsula. Explanatory Note. VSEGEI, S.-Petersburg, 2015, 200 p
- Gerasimov I.F. About the Uedinenie Island // News of the State Geographical Society. 1936. Vol. 68. No 2, p. 246-255
- Gusev E.A., Sharin V.V., Dymov V.A., Kachurina N.V., Arslanov Kh.A. New data on the upper horizons of the sedimentary cover of the northern part of the Kara Sea shelf // Razvedka i ohrana neдр. 2012. No 8. P. 87-90.
- Daragan-Sushchova L.A., Petrov O.V. et al. Features of the geological structure of the North Kara shelf according to seismic data // Regional geology and metallogeny. 2013. № 54. P. 5-16
- Unified stratigraphic chart of the Quaternary deposits of the Western Siberian Plain. Volkova V.S., Babushkin A.E. (edit.). SNIIGGiMS. Novosibirsk. 2000, 64 p.