

СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЯ ОСАДОЧНОГО ПОКРОВА КАК ОСНОВА ПРОГНОЗА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ БАРЕНЦЕВОМОРСКОГО ШЕЛЬФА

ЭПШТЕЙН О.Г. Геологический институт РАН, г. Москва, epshtein@ginras.ru
ДЛУГАЧ А.Г. ОАО «АМИГЭ», г. Мурманск, aldlugach@rambler.ru
СТАРОВОЙТОВ А.В. Геологический факультет МГУ, Москва, starovoytov_msu@mail.ru

Статья базируется на обширных материалах сейсмоакустических исследований, инженерно-геологического бурения и посвящена четвертичному осадочному покрову в восточной части Баренцевоморского шельфа. Дается характеристика сейсмостратиграфии этого покрова. Показывается своеобразие физических свойств отложений, составляющих разные сейсмостратиграфические подразделения четвертичного разреза. Делается вывод, что сейсмостратиграфические данные можно рассматривать как основу прогнозной оценки инженерно-геологических условий Баренцевоморского шельфа.

Ключевые слова: *Баренцевоморский шельф; сейсмостратиграфические подразделения четвертичного покрова; физические свойства грунтов; прогноз инженерно-геологических условий.*

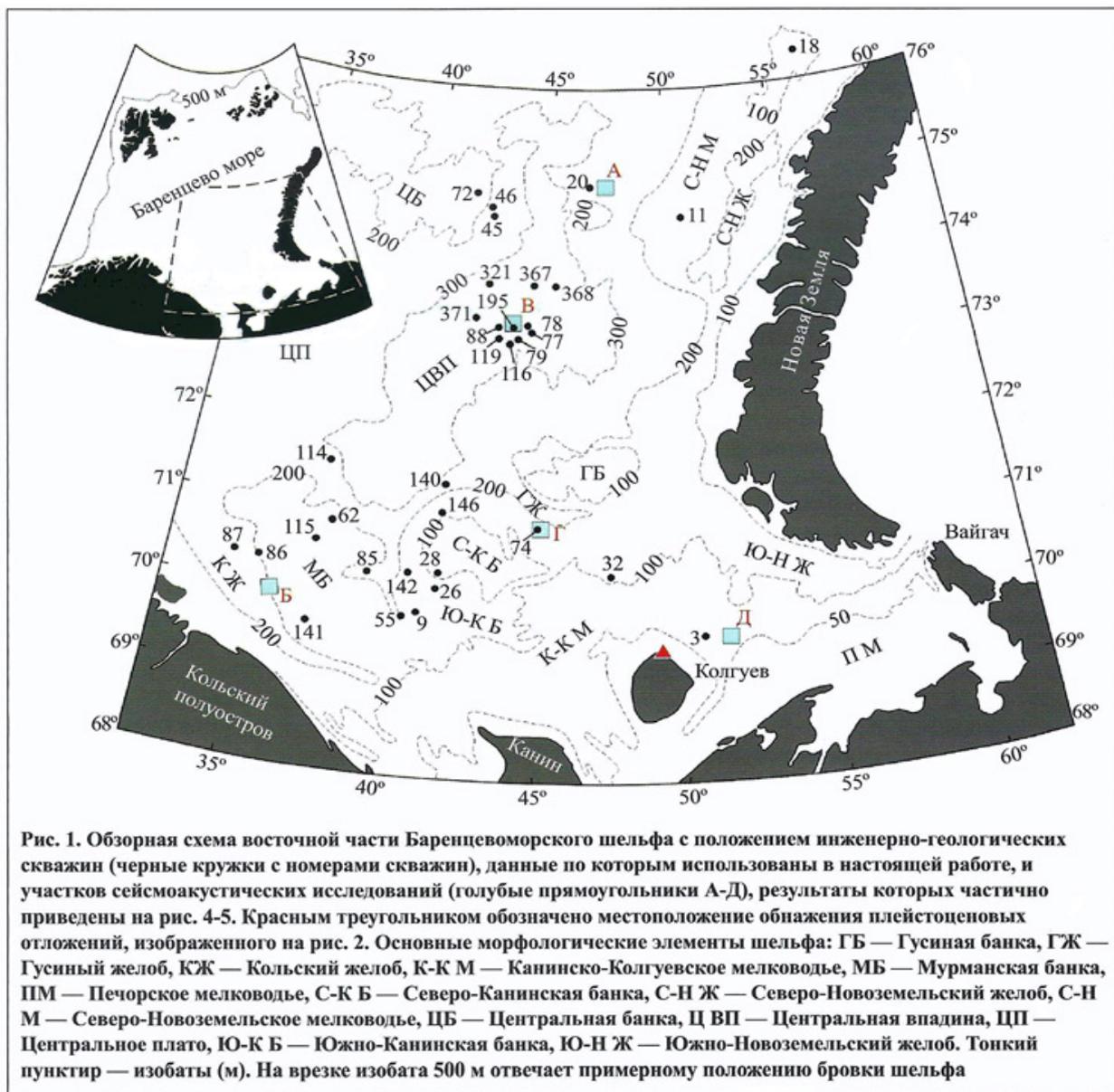
Краткие сведения об изученности осадочного покрова Баренцева моря. Проблема региональных закономерностей инженерно-геологических условий

Осадочный покров Баренцева моря - крупнейшего эпиконтинентального шельфового бассейна - более века является объектом многочисленных исследований. В течение длительного начального этапа изучения этого покрова исследовался лишь его самый верхний (придонный) слой с использованием дночерпателей и грунтовых трубок. Среди пионеров данных работ следует отметить Ф. Литке, А. Норденшельда, Ф. Нансена, Н.П. Книповича, Я.В. Самойлова. Результаты этапа изучения донных осадков подытожены в классическом труде М.В. Кленовой «Геология Баренцева моря» [1960].

Начиная с 70-80-х годов прошлого столетия на Баренцевоморском шельфе осуществляются исследования, направленные главным образом на изучение всего разреза осадочного чехла. Проведенные в больших объемах непрерывное сейсмоакустическое профилирование (многие десятки тысяч погонных километров профилей) и бурение инженерно-геологических скважин (сотни скважин глубиной до 50-100 м и более) позволили получить достаточно широкие представления о строении, условиях залегания, возрасте, литологическом составе, генезисе и водно-физических свойствах отложений осадочного покрова морского бассейна.

В результате комплексных геолого-геофизических исследований, проведенных и в западной (норвежской), и в восточной (русской) частях региона, установлено следующее. На Баренцевоморском шельфе осадочный чехол повсеместно отделен границей резкого углового несогласия (границей «верхнего регионального несогласия» - URU [Solheim & Kristoffersen, 1984]) от архейско-протерозойских и палеозойско-мезозойских толщ. Этот покров имеет почти исключительно четвертичный возраст и лишь в узкой краевой зоне западного внешнего шельфа в его разрезе присутствуют верхнеплейстоценовые отложения [Saettem et al., 1992]. В составе осадочного чехла (в его плейстоценовой части) широким развитием пользуются специфические неслоистые диамиктоны с рассеянным грубообломочным материалом (до валунов и глыб). В западном секторе Баренцевоморского шельфа эти отложения однозначно считаются моренами [Elverhoi, 1984; Solheim & Kristoffersen, 1984; Saettem et al., 1992 и др.]. Относительно восточной части шельфа (именно он и рассматривается в статье далее) помимо таких же представлений [Дибнер, 1968; Старовойтов, 1999; 2002; Эпштейн и Лаврушин, 2003; Эпштейн и др., 2011; 2011a и др.] в ряде работ высказывается мнение, что плейстоценовые диамиктоны являются мореноподобными ледово-морскими образованиями [Крапивнер и др., 1986; 1988; Крапивнер, 2009; 2009a; Яшин и Кошелева, 1986 и др.]. Последние (так называемые «маринистические») представления как

определенная субъективная, на взгляд авторов настоящей статьи, научная концепция сформировались в 1960-1970-х годах при изучении четвертичных отложений севера Западной Сибири и Печорской низменности.



Несмотря на глубокий всесторонний критический анализ «маринистической» концепции [Троцкий, 1975], она получила достаточно широкое, особенно на первых порах, распространение среди исследователей Баренцевоморского шельфа [Баренцевская шельфовая..., 1988; Самойлович и Скоробогатько, 1986; Яшин и Кошелева, 1999 и др.]. Еще до начала инженерно-геологического бурения в открытой акватории Баренцева моря для южной части региона была предложена схема сеймостратиграфии осадочного чехла [Кративнер и др., 1986; 1988], где разрез последнего трактуется как состоящий из сеймостратиграфических комплексов (ССК) почти исключительно морских отложений пространственно изменчивого литологического состава. И вполне закономерно, что вследствие подобных представлений о строении четвертичной толщи региона характеристика физико-механических свойств грунтов Баренцевоморского шельфа дается лишь с формальным указанием на принадлежность последних к тому или иному ССК, например в книге [Мельников и Спасивцев, 1995]. Как попытка показать инженерно-геологическое своеобразие осадков разных сеймостратиграфических комплексов региона

может рассматриваться лишь одна тематическая работа [Эпштейн, 1987], где отмечается специфика физических свойств отложений трех ССК (снизу вверх): ледникового (моренного), гляциоморского и морского.

Как недавно показано авторами [Эпштейн и др., 2011; 2011a], наиболее объективными, подкрепленными всем имеющимся фактическим материалом, являются представления о том, что плейстоценовые диамиктоны Баренцевоморского шельфа - типичные морены. В соответствии с этим предложена схема сейсмостратиграфического расчленения четвертичного разреза в восточной части Баренцева моря [Эпштейн, 1990; Эпштейн и др., 2011; 2011a]. Данная схема включает регионально прослеживаемые сейсмостратиграфические комплексы моренных, гляциоморских и морских отложений. Проведенный авторами анализ показал, что отложения разных сейсмостратиграфических подразделений, составляющих четвертичный покров Баренцевоморского шельфа, обладают определенной спецификой физических свойств. Характеристике сейсмостратиграфии осадочного чехла региона и описанию физических особенностей осадков сейсмостратиграфических элементов четвертичного разреза и посвящена данная работа.

База данных. Методы исследований

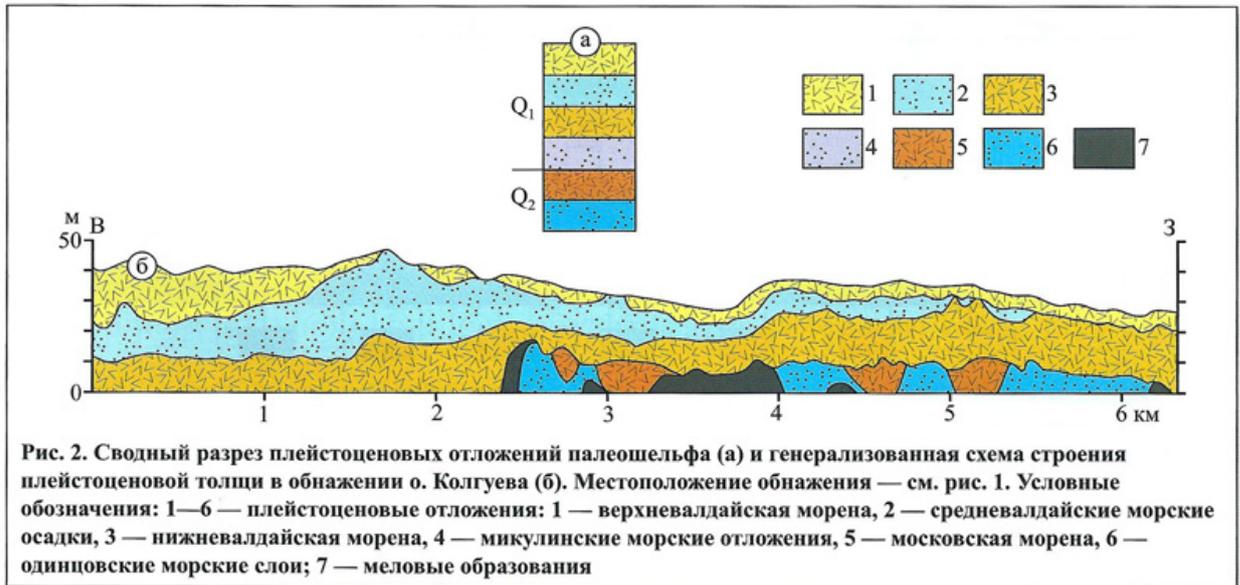
Для создания схемы сейсмостратиграфии четвертичного осадочного покрова Баренцевоморского шельфа авторами проведена геологическая интерпретация многих десятков региональных (а также детальных) профилей непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП), выполненных отчасти и с их участием. Некоторые составленные сейсмогеологические разрезы опубликованы [Эпштейн, 2012; Эпштейн и др., 2010; 2011; Эпштейн и Чистякова, 2005].

Сейсмоакустические исследования представляли собой одноканальное профилирование с электроискровым излучателем (спаркером), выполнявшееся в двух методических вариантах - низкочастотном (200-500 Гц) и высокочастотном (700-1500 Гц). Разрешающая способность и глубина освещения верхней части разреза в первом случае составили соответственно 3-5 м (иногда 5-7 м) и 70-150 м, а во втором - 1-2 м (иногда <1 м) и 30-50 м. При высокочастотном варианте проведения сейсмоакустического профилирования излучатель и приемник буксировались на глубине 50-70 м.

В данной статье приведены отдельные фрагменты профилей НСП, которые иллюстрируют важнейшие элементы сейсмостратиграфического строения четвертичного разреза рассматриваемого региона. В работе использованы данные по 46 скважинам, в 1986-1990 гг. пробуренным НИС «Бавенит» (ОАО «АМИГЭ», г. Мурманск) в разных частях морской акватории (рис. 1) и, как правило, вскрывшим четвертичный покров на всю мощность (на рис. 1 близкорасположенные скважины из-за масштаба схемы показаны одним знаком, при этом приводится номер лишь одной из них). В документировании многих из них участвовал один из авторов настоящей статьи. По указанным скважинам проанализировано свыше 600 проб грунтов, причем последние в примерно одинаковом количестве представляют основные элементы сейсмостратиграфического разреза (несколько беднее охарактеризованы лишь самые молодые - голоценовые - морские осадки). По разрезу скважин пробы отбирались в основном с интервалом 0,5-1,5 м. Физические свойства грунтов по стандартной методике были изучены в специализированных лабораториях АМИГЭ и (в меньшей мере) - во ВНИИморгео (определенная часть этих материалов опубликована [Эпштейн и др., 2011a]).

Своеобразие инженерно-геологических особенностей отложений, слагающих выделяемые авторами элементы сейсмостратиграфического разреза, обсуждаются на примере таких важнейших физических характеристик осадков, как: плотность влажного грунта (P_e); гранулометрический состав; влажность на границе текучести (W_L); число пластичности (I_p); естественная влажность (W_e); показатель текучести (I_L). Следует отметить, что при определении физических и механических свойств грунтов применяются

разные методики и получаемые результаты часто имеют неоднозначно трактуемые различия. Однако для данной работы эти обстоятельства представляются несущественными.



Рассматривается также состояние уплотненности глинистых отложений: нормальное, переуплотненное, недоуплотненное (в отечественную литературу первый и второй термины для глин введены М.Н. Гольдштейном [1952]). Нормально уплотненные осадки имеют значение показателя текучести, соответствующее перекрывающей литостатической нагрузке. Состояние уплотненности отложений определялось авторами с помощью видоизмененной диаграммы А.В. Скемптона [Skempton, 1970], эмпирически установившего и графически изобразившего зависимость между показателем текучести глин и глубиной их залегания в разрезе (литостатической нагрузкой) и выделившего поле значений показателя текучести для нормально уплотненных отложений. Следует особо отметить, что этим исследователем к глинам отнесены грунты с числом пластичности более 11. Таким образом, используя диаграмму А.В. Скемптона, можно оценить и уплотненность большей части осадков, которые по числу пластичности (7-17) согласно ГОСТ 25100-82 [1982] относятся к суглинкам. К этой диаграмме авторами добавлена шкала сопротивления сдвигу. Данный параметр вычислялся по формуле, отображающей эмпирически выявленную связь между показателем текучести грунтов и их сопротивлением недренированному сдвигу S_u (кПа) [Yilmaz, 2000]:

$$S_u = 100e^{0,26 \cdot 1,21 I_L},$$

где e - основание натурального логарифма; I_L - показатель текучести.

На построенных авторами и показанных далее в статье графиках представлены не все изученные пробы грунтов. Дело в том, что встречались группы из 2-3 проб с идентичными значениями анализируемых параметров (на графиках эти пробы обычно показаны одним значком). На представленной далее в статье схеме, иллюстрирующей гранулометрический состав изученных отложений, приведено по несколько кумулятивных кривых для осадков каждого выделяемого сейсмостратиграфического элемента четвертичного разреза. Для каждого из последних эти кривые показывают средний зерновой состав отдельных количественно весьма значительных групп проб грунтов, наиболее заметно различающихся между собой. Реализованный на одном из представленных в статье рисунков принцип выявления связи между I_p и W_L грунтов заимствован из работы А.В. Скемптона [Skempton, 1970].

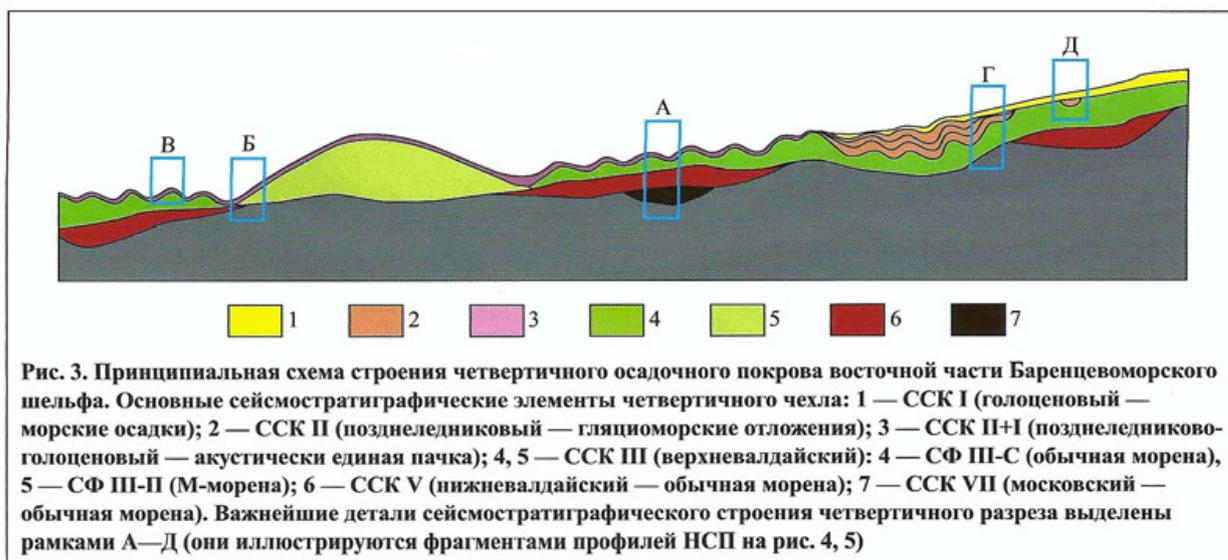
Сеймостратиграфия четвертичного осадочного чехла Баренцевоморского шельфа

Для понимания закономерностей устройства осадочного чехла Баренцева моря большое значение имеют данные прямых геологических наблюдений в зоне палеошельфа - в прибрежных районах материковой суши (на полуострове Канин, на Нижней Печоре и т.д.) и на о. Колгуеве [Лаврушин и Эпштейн, 2001]. Эти сведения позволяют лучше понять характер отложений, слагающих сеймостратиграфические комплексы региона, в том числе их строение, особенности границ (подошвенной и кровельной) и пространственного поведения данных осадочных тел.

В силу объективных причин (они будут рассмотрены ниже) в указанных районах наблюдается более полный разрез плейстоценовых отложений, чем на самом шельфе. Сводный плейстоценовый разрез Баренцевоморского палеошельфа выглядит следующим образом [Лаврушин и Эпштейн, 2001] (рис. 2, а). В его основании наблюдаются среднеплейстоценовые отложения - одинцовские морские осадки и перекрывающая их московская морена. Выше залегают верхнеплейстоценовые образования (снизу вверх): микулинские морские отложения, нижневалдайская морена, средневалдайские морские осадки, верхневалдайская морена (морена последнего оледенения). Мощность каждого из упомянутых подразделений (горизонтов) разреза не превышает 25-30 м. Морены перекрывают морские отложения с отчетливым экзарационным («режущим») контактом, часто имеющим весьма неровный характер. Морские осадки, представленные главным образом мелководными песчаными и гравийно-галечными образованиями, несогласно (часто с валунно-галечными отложениями в основании) залегают на подстилающих моренах. Строение плейстоценовой толщи сильно осложнено широко проявленными процессами ледниковой экзарации и гляциотектонического дислоцирования (превращения в гляциотектониты по работе [Banham, 1977]) в первую очередь межморенных осадков. Наглядный пример - поведение плейстоценовых отложений в обнажении, изученном на севере о. Колгуева [Лаврушин и Эпштейн, 2001] (в основании этого морского берегового обрыва фрагментарно вскрываются и меловые образования). На всем протяжении данного почти сплошь открытого обнажения прослеживаются, в целом, лишь валдайские осадки (рис. 2, б). Плейстоценовые отложения, залегающие под нижневалдайской мореной, наблюдаются в виде гляциотектонических блоков, а микулинские морские осадки здесь отсутствуют (в результате, очевидно, их полной экзарированности ранневалдайским ледником). Гляциотектонически интенсивно нарушена и вся видимая (мощностью до 5-10 м) часть меловых отложений. Последние имеют неровную (местами очень сложную) кровельную границу, гляциотектонические контакты с плейстоценовыми морскими осадками и экзарационным несогласием отделены от нижневалдайской морены. В центральной части обнажения наблюдается полого падающий гляциотектонический «клин» меловых образований, верхушечная часть которого скошена на запад - согласно направлению движения ранневалдайского ледника. Весьма показательное поведение средневалдайских морских отложений (см. рис. 2, б), испытавших и гляциодислокационное, и экзарационное воздействие поздневалдайского ледника. В рассматриваемом береговом обрыве в направлении с востока на запад сначала существенно уменьшается мощность этих осадков, усиливается и усложняется их дислоцированность (гляциодислокации охватывают и кровельную часть подстилающей нижневалдайской морены). Затем данный межморенный горизонт превращается в разобщенные гигантские будины и далее не прослеживается. В результате в западной части обнажения верхневалдайская морена налегает непосредственно на нижневалдайскую (см. рис. 2, б), а граница между ними выявляется лишь благодаря некоторым различиям в их окраске.

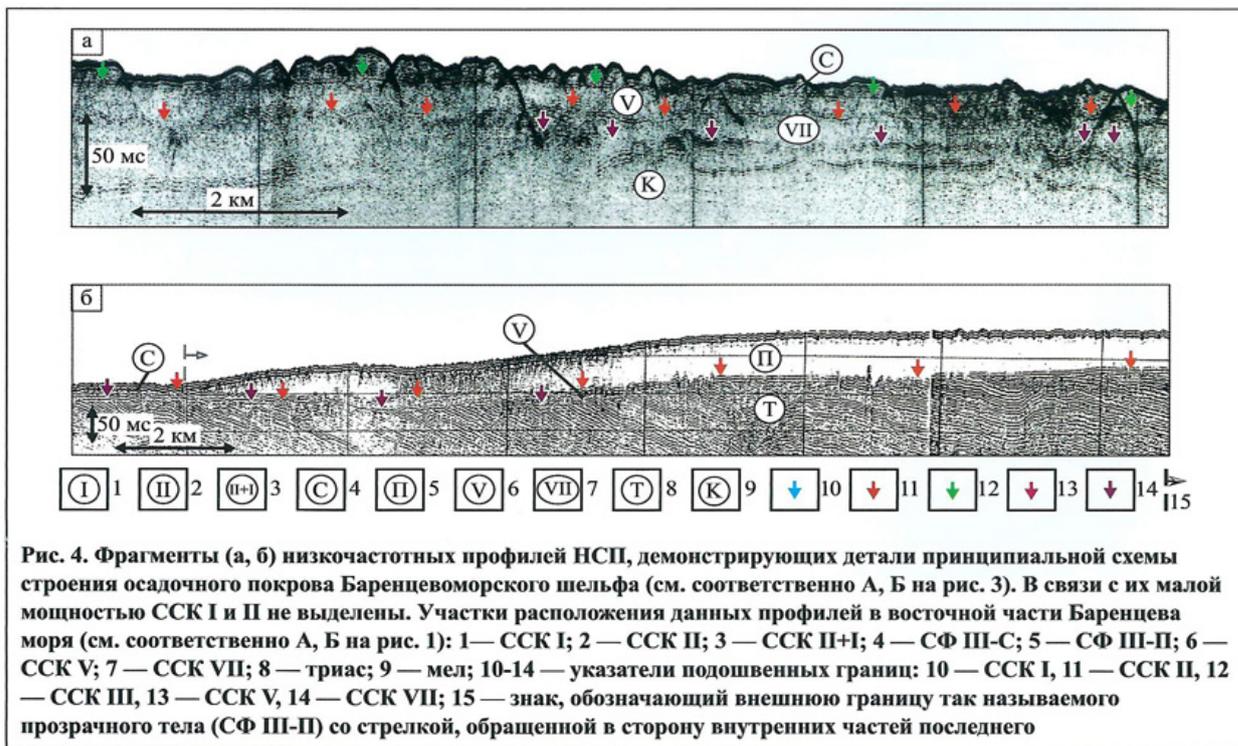
Рассмотренный выше сводный плейстоценовый разрез палеошельфа «надстраивается» осадками, развитыми на шельфе. Они венчают четвертичный осадочный

покров региона и представлены позднеледниковыми гляциоморскими отложениями, несогласно перекрывающими верхневалдайскую морену, и голоценовыми морскими осадками, несогласно (несогласию во многих случаях коррелятна согласная граница) залегающими на гляциоморских образованиях. Все вышеперечисленные элементы осадочного чехла палеошельфа-шельфа, разделенные поверхностями несогласий, могут рассматриваться (по [Сейсмическая стратиграфия..., 1982]) как самостоятельные сейсмостратиграфические комплексы. Согласно принятой нумерации ССК сверху вниз по разрезу [Крапивнер и др., 1986; 1988; Эпштейн, 1987; Эпштейн и др., 2011; 2011а; Solheim & Kristoffersen, 1984], эти комплексы таковы: ССК I - голоценовый; ССК II - позднеледниковый; ССК III, V, VII - плейстоценовые морены; ССК IV, VI, VIII - плейстоценовые межморенные морские осадки.



На самом шельфе наблюдается неполный разрез четвертичных отложений. Из него практически полностью выпадают плейстоценовые межледниковые морские осадки (рис. 3) - они почти полностью эродированы. Фрагментарно развиты доверхневалдайские морены. Такое строение осадочного покрова Баренцевоморского шельфа представляется неслучайным. Как и многие другие (например, [Elverhoi, 1984; Faleide et al., 1996; Solheim & Kristoffersen, 1984]), авторы настоящей статьи полагают, что Баренцево море представляет собой один из широко развитых и в Северном, и Южном полушариях [Эпштейн, 2012] типичный верхнекайнозойский гляциальный шельф. Осадочный покров всех океанских мелководий данного типа развивается в ходе многочисленных гляциоседиментационных циклов, связанных с глобальными климатическими (ледниково-межледниковыми) флуктуациями. Каждый такой цикл, сопровождаемый гляциоэвстатическими колебаниями уровня Мирового океана, на этих шельфах протекает в условиях последовательного развития обстановок оледенения, дегляциации и установления открытого морского бассейна и состоит из этапов: (1) формирования ледниковой эрозионной поверхности; (2) моренообразования; (3) гляциоморской седиментации; (4) морской седиментации. Чрезвычайно интенсивные процессы ледниковой эрозии, происходящие в начале каждого гляциоседиментационного цикла, приводят к тому, что на верхнекайнозойских гляциальных шельфах в полностью сохранившемся первичном виде наблюдаются только отложения последнего (верхневалдайско-голоценового) гляциоседиментационного цикла. Поэтому в верхнекайнозойском осадочном чехле этих шельфов (за исключением районов их бровки) ниже морены последнего оледенения присутствуют лишь фрагменты морен как механически наиболее прочных образований отдельных более древних гляциоседиментационных циклов [Эпштейн, 2012]. Таким образом, существующее

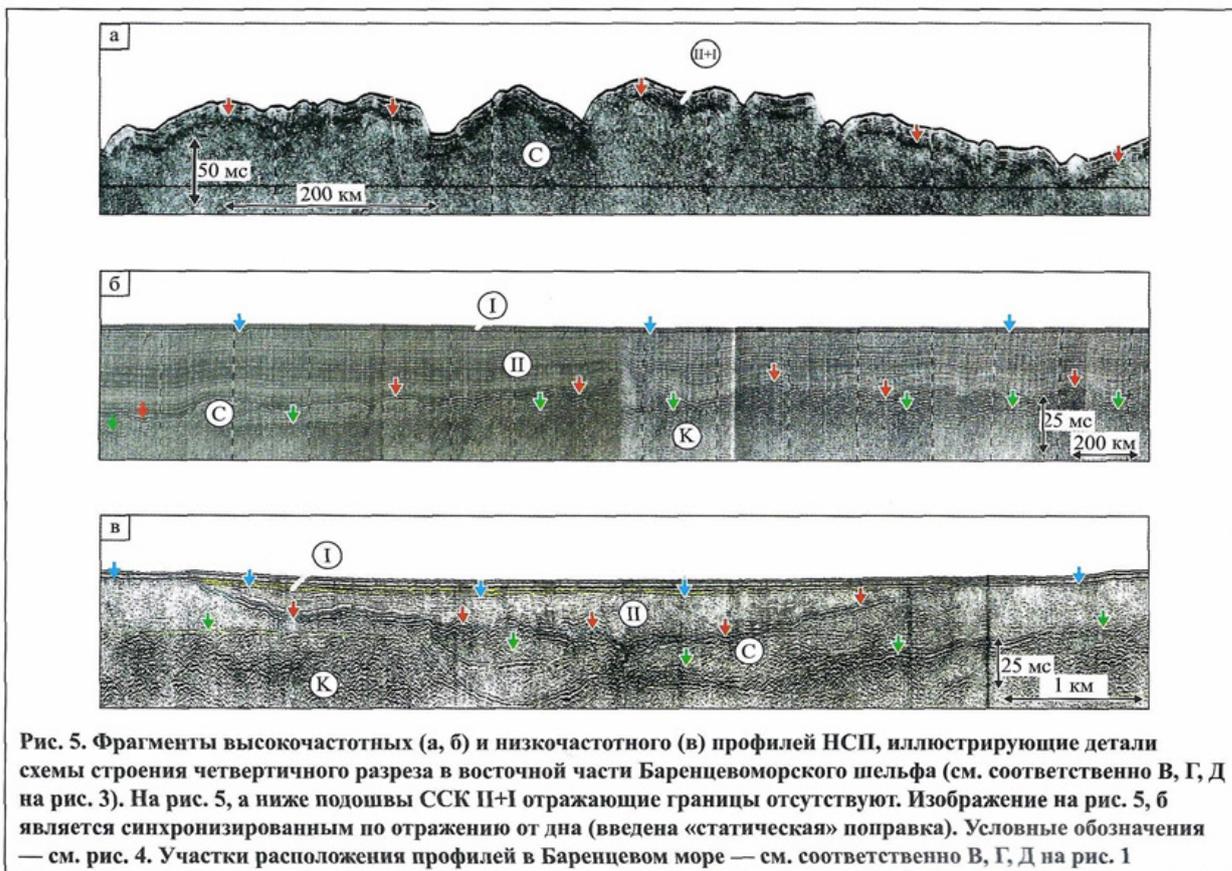
строение осадочного покрова Баренцевоморского шельфа имеет вполне закономерный характер. Более полный разрез плейстоцена в указанных выше районах палеошельфа объясняется тем, что эти участки находятся на периферии шельфовой зоны и ледники, надвигавшиеся со стороны современного морского бассейна (ледниковые центры - архипелаги Новая Земля, Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Кольский п-ов), осуществляли здесь, как и в районе бровки самого шельфа, не столь активную эрозионную деятельность. Более подробно рассмотрим сейсмостратиграфию четвертичного осадочного покрова в восточной части Баренцевоморского шельфа.



Осадочный покров Баренцевоморского шельфа представлен здесь пятью сейсмостратиграфическими комплексами (ССК I, III, V, VII, см. рис. 3), которые благодаря особенностям слагающих отложений разделяют четвертичный разрез на две части (рис. 4, 5): верхнюю - акустически слоистую, состоящую из бассейновых осадков ССК I и II, и нижнюю - неслоистую, образованную моренами (ледниковыми диамиктонами) ССК III, V и VII. В указанных частях осадочного покрова разных характер имеют и границы, разделяющие ССК. Каждая из этих границ, являющаяся одновременно и кровлей нижележащего сейсмостратиграфического комплекса, и подошвенной поверхностью вышележащего ССК, парагенетически связана с осадками последнего и определяется общими особенностями геологических явлений сформировавшего их типа литогенеза. Подошвенные границы ССК I и II, т.е. поверхности, разграничивающие ССК I, II и III, всегда отчетливо выражены сейсмически (см. рис. 4, а, б, в) и/или (последнее относится лишь к случаю согласных взаимоотношений ССК I и II) литологически - в керне скважин. В то же время поверхности между «диамиктоновыми» ССК III, V и VII акустически прерывисты по латерали (см. рис. 4, а) и участками имеют то четкое, то неотчетливое выражение (в керне скважин контакты морен разных ССК, как правило, неразличимы из-за литологического сходства отложений). По мнению авторов, часто наблюдаемая нечеткость акустических границ между «диамиктоновыми» ССК объясняется тем, что на этих участках моренная толща обладает особо сложным строением, вызванным специфическими геологическими процессами ледового литогенеза (более подробное рассмотрение вопроса выходит за рамки данной статьи). В целом в нижней, акустически неслоистой, части четвертичного разреза наиболее выразительна

подошва «диамиктонового» ССК, непосредственно залегающего на коренных отложениях. В данном случае наклонные отражения, свойственные мезозойским осадкам и даже слегка видоизмененные в повсеместно развитой на шельфе зоне (средней мощностью 5-7 м) их гляциодислоцирования [Эпштейн, 2007], обычно явно «срезаются» линией подошвы морены (см. рис. 4, б). Даже при неотчетливой выраженности такой подошвенной границы последняя легко дешифрируется как линия прекращения прослеживания вверх по разрезу отражений, характерных для коренных отложений (рис. 3, а). В разрезах скважин эта граница во всех случаях литологически хорошо выражена.

Рассмотрим особенности каждого сейсмостратиграфического элемента в четвертичном покрове Баренцевоморского шельфа.



ССК VII развит весьма ограниченно (см. рис. 3). Ему, как и ССК V и доминирующей части ССК III (это будет рассмотрено ниже), свойственен хаотический тип сейсмоакустической записи - короткие разнонаправленные отражения (см. рис. 4, а). По мнению авторов, этот тип записи связан со сложным пространственно неоднородным строением морены, в первую очередь с наличием множества отторженцев отложений ложа [Эпштейн и др., 2011; 2011а]. На тех немногих профилях НСП, на которых ССК VII отчетливо выявляется, он прослеживается на протяжении до первых десятков километров, имея мощность не более 25-35 м и субгоризонтальные в целом неровные границы. В морене данного комплекса скорость распространения сейсмических волн составляет 1800-1900 м/с [Длугач, 1995], что мало отличается от скорости этих волн в нижележащих мезозойских отложениях. Так, в южной части Баренцева моря в верхней части мелового разреза скорость сейсмических волн равна 1770-1920 м/с [Ельников, 1978].

ССК V распространен достаточно широко (см. рис. 3) - на 20-40% площади Баренцевоморского шельфа. Как и нижележащий «диамиктоновый» комплекс, он характеризуется по-разному выраженными неровными в общем субгоризонтальными подошвенной и кровельной границами (см. рис. 3, а, б). Мощность ССК V в среднем

составляет 10-25 м. Ареалы развития данного сейсмостратиграфического комплекса достигают десятков тысяч квадратных километров (некоторые из них показаны в работах [Эпштейн и др., 2011; 2011a]). Осадочные отложения комплекса акустически близки отложениям ССК VII.

ССК III развит на всем шельфе, имея неровную субгоризонтальную подошвенную границу (см. рис. 4, а, б; 5, б). Будучи, как уже отмечено, сформированным во время последнего оледенения шельфа, он является единственным из «диамиктоновых» комплексов, который обладает кровлей первично седиментационной морфологии. ССК III представлен двумя сейсмофациями (см. рис. 3), которые связаны зоной постепенного взаимоперехода протяженностью до первых километров [Эпштейн и др., 2011; 2011a]. Одна из сейсмофаций (СФ), имеющая доминирующее распространение на шельфе, - СФ III-С с типичным для «диамиктоновых» комплексов хаотическим типом сейсмоакустической записи (см. рис. 4, а; 5, а-в); другая - СФ III-П (см. рис. 4, б) с прозрачным типом волновой картины (почти полным отсутствием внутренних отражений). СФ III-С представлена обычной мореной, а СФ III-П - очень однородной не содержащей отторженцы мореной, которая как особый тип отложений данного генетического типа названа М-мореной [Эпштейн и др., 2010]. Последняя слагает огромные эллипсоидные в плане куполообразные аккумулятивные образования (см. рис. 3) - так называемые прозрачные тела - площадью до десятков тысяч квадратных километров и мощностью до 50-70 м в осевой части [Эпштейн и др., 2011; 2011a]. Мощность отложений СФ III-С в целом существенно меньше (в среднем 10-25 м). СФ III-С имеет холмистую грядово-западинную кровлю (см. рис. 4, а; 5, а, б), а СФ III-П - в целом весьма ровную пологовыпуклую (рис. 4, б), в краевых частях ареалов своего развития приобретающую плавный пологоволнистый характер [Эпштейн и др., 2011; 2011a]. Скорость распространения сейсмических волн в обычной морене СФ III-С составляет 1700-1900 м/с, а в М-морене СФ III-П - 1450-1520 м/с [Длугач, 1995; Длугач и Антоненко, 1996].

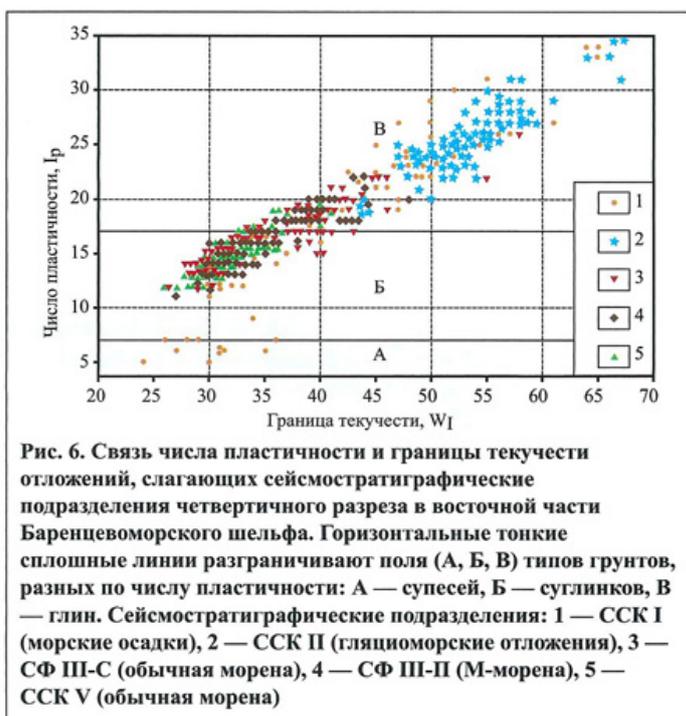
ССК II сложен разными, преимущественно глинистыми, продуктами ледникового таяния [Эпштейн и Лаврушин, 2003], имеет акустически тонкое горизонтально-слоистое строение. Несогласно без размыва он залегает на моренах обеих сейсмофаций ССК III, облекая все неровности их кровли (см. рис. 3; 5, а-в). Комплекс распространен повсеместно мористее 100-метровой изобаты; на меньших глубинах он сохранился лишь в отдельных западинах в кровле морены ССК III (см. рис. 5, в), будучи почти полностью абрадирован здесь в ходе позднеледниково-голоценовой гляциоэвстатической трансгрессии Мирового океана, начавшейся с отметок минус 100-150 м. В северных районах шельфа мощность осадков комплекса обычно составляет первые метры, а в южной половине региона она заметно больше: достаточно часты значения 10-20 м, а севернее и северо-западнее о. Колгуева они достигают 50-75 м. Скорость сейсмических волн в гляциоморских образованиях ССК II колеблется в широком диапазоне, существенно увеличиваясь вниз по разрезу комплекса по мере роста уплотненности отложений. В верхах ССК II она составляет 1400-1450 м/с [Длугач и Антоненко, 1996], а на глубине разреза более 20 м - возрастает до 1550-1600 м/с [Длугач и др., 1988].

ССК I, представленный слоистыми морскими отложениями, развит на шельфе повсеместно. На глубинах более 150-200 м, будучи сложенным алеврито-глинистыми осадками, он согласно залегает на гляциоморских отложениях ССК II, вместе с ними образуя сравнительно маломощную (в основном менее 3-5 м) акустически единую слоистую пачку ССК II+I (см. рис. 3; 5, а). На меньших глубинах моря этот комплекс, обычно представленный мелкозернистыми песками, несогласно перекрывает ССК II (см. рис. 3; 5, б), а в области глубин моря менее 50-100 м он с размывом и галечниками в основании залегает непосредственно на морене ССК III (см. рис. 3; 5, в). Мощность морских отложений мористее 100-метровой изобаты не превышает, как правило, 2-3 м. Песчаные осадки рассматриваемого ССК в зоне мелководья (отметки менее 50-100 м)

иногда достигают мощности в первые десятки метров. Скорость распространения сейсмических волн в морских глинистых отложениях составляет 1400-1500 м/с, а в песках - 1450-1600 м/с [Длугач, 1995; Длугач и Антоненко, 1996].

С учетом общей немногочисленности имеющихся сведений о скоростях распространения сейсмических волн в осадочном покрове Баренцевоморского шельфа, определенный интерес могут представить данные о сходных, хотя и обладающих известной литологической спецификой, четвертичных отложениях Белого моря. Согласно результатам многоканального сейсмоакустического профилирования, в упомянутом морском бассейне скорость сейсмических волн в моренных образованиях составляет в целом 1900-2200 м/с, а в бассейновых осадках надморенной толщи (возрастных аналогах отложений ССК II и I Баренцевоморского шельфа) - 1500-1670 м/с (материалы предоставлены Центром анализа сейсмических данных МГУ).

Завершая краткую характеристику важнейших сейсмостратиграфических подразделений четвертичного разреза Баренцевоморского шельфа, следует отметить, что приведенная выше схема сейсмостратиграфии осадочного чехла региона не может быть полностью распространена на районы Печорского мелководья. Дело в том, что на данном участке шельфа, который характеризуется весьма неблагоприятными сейсмогеологическими условиями [Длугач, 1995; Длугач и Антоненко, 1996], строение верхней части четвертичного разреза существенно осложнено присутствием аллювиально-дельтовых и авандельтовых образований Пра-Печоры [Эпитейн и Чистякова, 2005].



Сейсмостратиграфические комплексы осадочного покрова шельфа и инженерно-геологические особенности слагающих их отложений

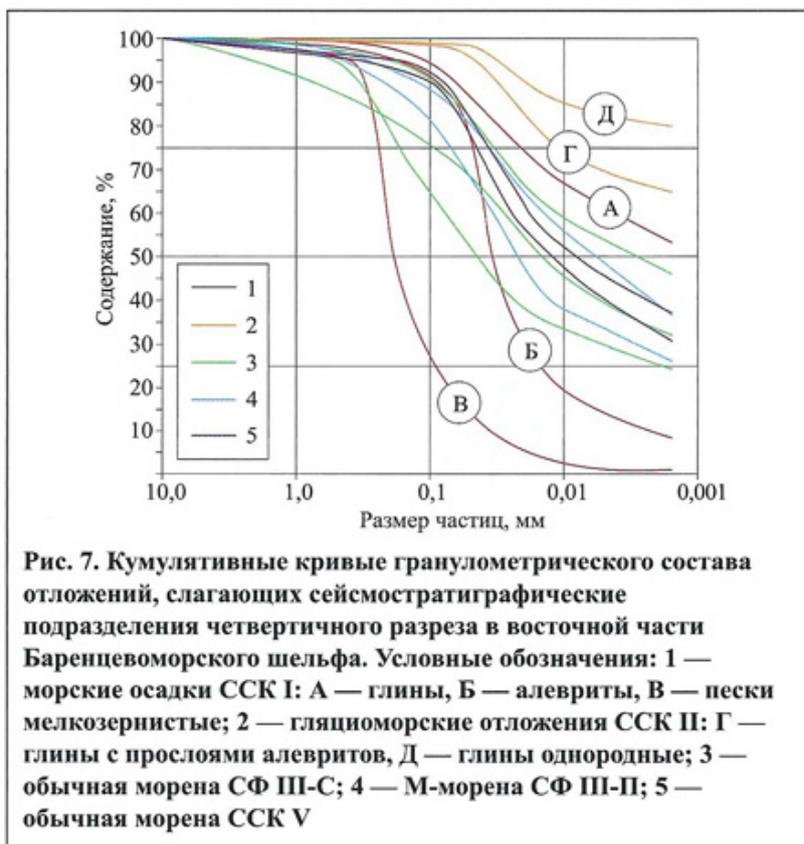
Предваряя излагаемое ниже, следует сказать о том, что приводимая в статье классификация четвертичных осадков как грунтов следует официальному стандарту [ГОСТ, 1982]. По числу пластичности (I_p) выделяются следующие типы грунтов: супеси ($1 \leq I_p \leq 7$), суглинки ($7 < I_p \leq 17$), глины ($I_p > 17$). Суглинки и глины (ниже речь пойдет почти исключительно о них) по консистенции, определяемой величиной показателя текучести (I_L), подразделяются на следующие

разновидности: текучие ($I_L > 1,00$), текучепластичные ($0,75 < I_L \leq 1,00$), мягкопластичные ($0,50 < I_L \leq 0,75$), тугопластичные ($0,25 < I_L \leq 0,50$), полутвердые ($0 \leq I_L \leq 0,25$), твердые ($I_L < 0$). Мелкозернистые пески, в которых частицы крупнее 0,1 мм составляют по массе менее 75%, определяются как пески пылеватые.

Отложения ССК VII, фрагментарно сохранившиеся на Баренцевоморском шельфе, не вскрыты бурением. Можно полагать, что своими основными инженерно-геологическими параметрами осадки данного комплекса близки к отложениям описываемого ниже ССК V.

Обычная морена ССК V обладает высокой плотностью (в основном 2,04-2,19 г/см³) и представлена суглинками, реже глинами (рис. 6). И те, и другие на 80-90% состоят из алевритовой (А) и глинистой (Г) размерных фракций (соответственно 0,1-0,01 мм и менее 0,01 мм), которые представлены примерно в равных количествах (рис. 7). Присутствует

песчаная (П) фракция (1,0-0,1 мм), в среднем составляющая до 10%, и редкий грубообломочный (>1,0 мм) материал (ГОМ). Содержание последнего в отдельных пробах достигает 7-10%. Влажность осадков, составляющая 10-20%, практически не меняется с глубиной их залегания в разрезе (рис. 8). Осадки ССК V имеют полутвердую-твердую консистенцию (рис. 9). Они переуплотнены ледниковой нагрузкой [Энштейн и др., 2011а], их сопротивление сдвигу часто составляет более 100 кПа (см. рис. 9), что, по данным авторов, аналогично, а в ряде случаев превышает значения этих параметров, свойственные залегающим ниже мезозойским отложениям.

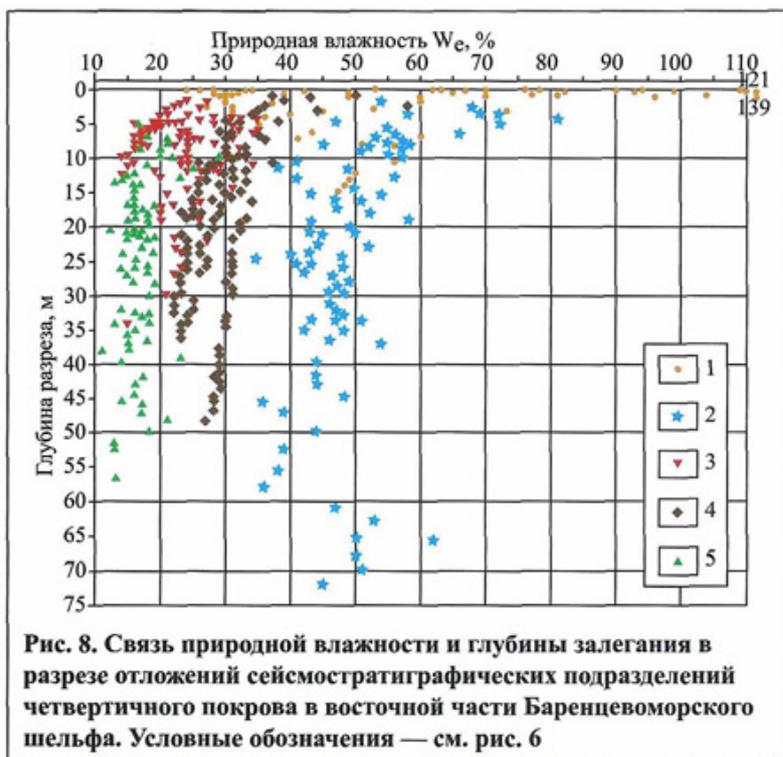


30%. Количество ГОМ в основном не превышает 2-3%, но иногда увеличивается до 6-10%. Влажность отложений, составляющая 15-34%, проявляет слабо выраженную тенденцию уменьшения с увеличением глубины залегания осадков в разрезе (см. рис. 8). Отложения имеют в основном тугопластичную-твердую консистенцию и, как и морена ССК V, переуплотнены ледниковой нагрузкой [Энштейн и др., 2011а]. Их сопротивление сдвигу обычно составляет более 60-75 кПа (см. рис. 9) и в целом ряде случаев аналогично величине этого показателя для нижележащих мезозойских отложений. Намечается некоторое повышение уплотненности осадков вниз по разрезу. Следует подчеркнуть, что при определении состояния уплотненности грунтов величина их сопротивления сдвигу не имеет самостоятельного значения. Она информативна лишь при ее соотнесении с положением отложений в разрезе (глубиной залегания) - с современной перекрывающей литостатической нагрузкой.

М-морена СФ III-П имеет плотность в основном 1,80-2,00 г/см³. Она в равной степени представлена суглинками и глинами (см. рис. 6). Построенные кумулятивные кривые (см. рис. 7) показывают, что отложения рассматриваемой сейсмофации на 80-90% сложены фракциями А и Г при некотором преобладании последней. Содержание фракции П обычно не превышает 10%, а для ГОМ оно достигает 1-5%. Влажность осадков, составляющая 22-39% (в редких случаях 43-58%), явно уменьшается с увеличением глубины их залегания в разрезе (см. рис. 8). Рассматриваемые отложения имеют консистенцию от текучей и текучепластичной до тугопластичной (см. рис. 9), причем во

Обычная морена СФ III-С имеет плотность главным образом 1,90-2,09 г/см³ и состоит из суглинков и в меньшей мере из глин (см. рис. 6). Гранулометрический состав этих отложений заметно более изменчив, чем у морены ССК V (на рис. 7 показаны три типа кумулятивных кривых). Возможно, это объясняется тем, что морена СФ III-С опробована на гораздо большей площади шельфа, чем отложения ССК V. В рассматриваемых отложениях основную роль играют те же фракции - А и Г (вместе составляющие 70-80%), однако в ряде случаев последняя существенно преобладает. Содержание фракции П обычно составляет 10-15%, но в ряде проб достигает почти

многих случаях даже при глубине разреза 35-40 м им свойственна лишь мягкопластичная консистенция. Осадки нормально уплотнены - консолидированы лишь под действием литостатической нагрузки [Эпштейн и др., 2011a] - и проявляют отчетливую тенденцию повышения уплотненности с увеличением глубины залегания в разрезе (см. рис. 9). Соппротивление сдвигу этих грунтов колеблется от 25 до 70 кПа, в основном составляя 35-60 кПа.



превышает 90%, составляя 91,3, 94,3 и 97,0%. Кроме фракции Г в осадках фактически присутствует лишь фракция А (10-15%), поскольку содержание фракции П составляет менее 1,0-1,5%. ГОМ в проанализированных стандартных навесках практически не встречается. В пробах, где помимо самих глин частично присутствуют мелкоалевритовые слои, общее содержание фракции Г составляет около 75%, фракции А - 20-25%, П - не более 1-3% (см. рис. 7). Глины отличаются высокой влажностью - в основном 40-60%, иногда несколько меньше (до 35%) или больше (до 65-81%). Величина этого показателя уменьшается с увеличением глубины залегания глин в разрезе (см. рис. 8). Осадки как нормально уплотнены, так и недоуплотнены (см. рис. 8), обнаруживая отчетливую тенденцию к консолидации с увеличением глубины залегания в разрезе, что свидетельствует об их уплотнении под влиянием лишь литостатической нагрузки. Некоторая наблюдаемая недоуплотненность коричневых глин объясняется, очевидно, «лавинными» скоростями их накопления (до 15-20 м за 1000 лет) в наиболее мощных разрезах ССК II. Глины имеют текучую-текучепластичную, реже мягкопластичную консистенцию; лишь при глубине разреза более 45-50 м они частично становятся тугопластичными (см. рис. 9).

Морские осадки, слагающие ССК I, отличаются исключительным разнообразием гранулометрического состава при наличии всевозможных взаимопереходов. По существенному преобладанию одной из основных размерных фракций (Г, А, П) в открытой акватории Баренцева моря можно выделить (см. рис. 6, 7) глины, алевриты (суглинки, супеси) и мелкозернистые (пылеватые) пески. Характер их площадного распространения на шельфе наиболее наглядно демонстрирует существование теснейшей связи морской седиментации с общими батиметрическими условиями - с гидродинамическим режимом в районах осадконакопления. Глины развиты в области

ССК II в своем наиболее типичном варианте представлен глинами коричневого цвета с частыми слойками (<1-3 мм) мелких алевритов. Обычно эти глины имеют плотность 1,64-1,78 г/см³ при минимальном и максимальном ее значениях 1,56 и 1,89 г/см³ соответственно. Осадки высоко пластичны (число пластичности достигает 35, см. рис. 6) и характеризуются исключительно тонким гранулометрическим составом: содержание фракции Г колеблется в районе 85% (см. рис. 7). Имеется три пробы глин (по одной из трех скважин), в которых содержание фракции Г даже

максимальных глубин моря (320-350 м), алевроиты - на глубинах 200-250 м, мелкозернистые пески - 90-150 м. На меньших глубинах (ближе к участкам суши) развиты более грубые пески и гравийно-галечные отложения.

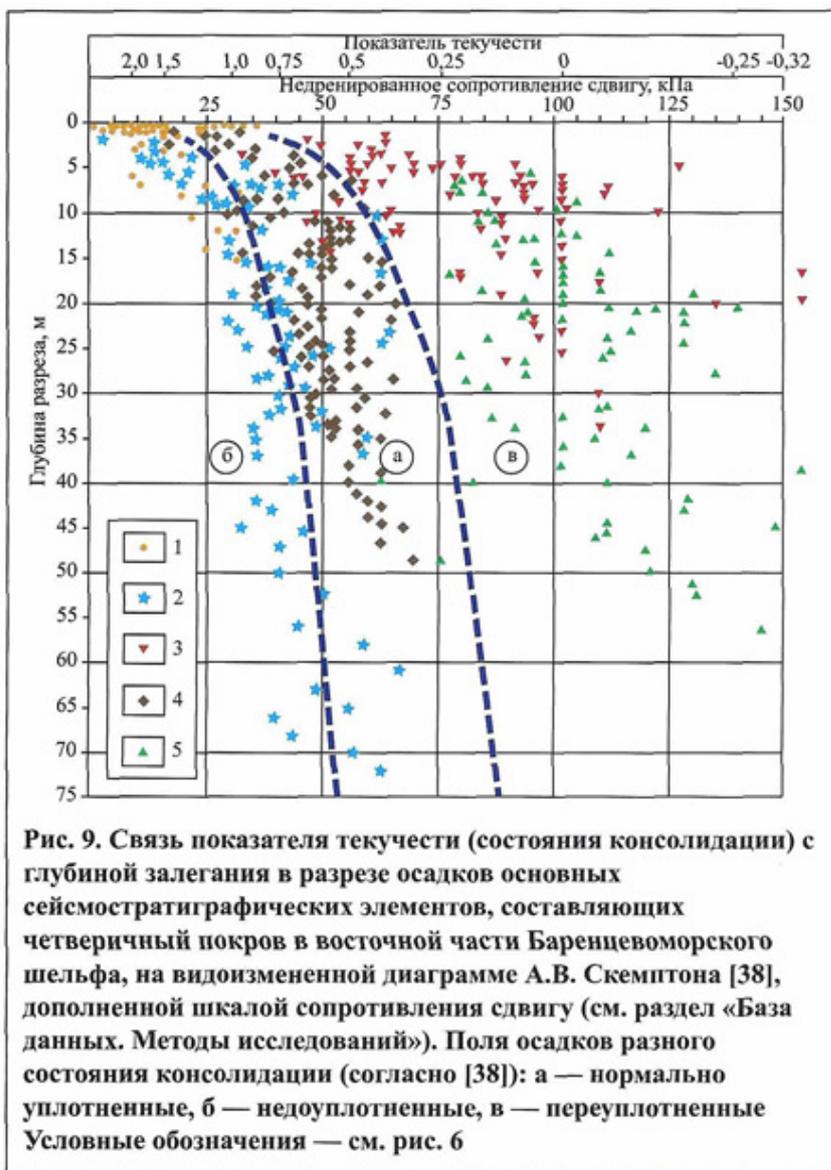


Рис. 9. Связь показателя текучести (состояния консолидации) с глубиной залегания в разрезе осадков основных сейсмостратиграфических элементов, составляющих четвертичный покров в восточной части Баренцевоморского шельфа, на видоизмененной диаграмме А.В. Скемптона [38], дополненной шкалой сопротивления сдвигу (см. раздел «База данных. Методы исследований»). Поля осадков разного состояния консолидации (согласно [38]): а — нормально уплотненные, б — недоуплотненные, в — переуплотненные
Условные обозначения — см. рис. 6

1,93 г/см³. Осадки ССК I обладают высокой влажностью: суглинки и супеси - 31-45 %, глины - часто 60-100%, иногда до 120-140% (см. рис. 8). Влажность этих грунтов уменьшается с увеличением глубины их залегания в разрезе (см. рис. 8). Осадки имеют почти исключительно текучую и текучепластичную консистенцию (см. рис. 9). При наличии главным образом приповерхностных проб отложений ССК I, можно лишь отметить то обстоятельство, что среди морских осадков присутствуют недоуплотненные разности (см. рис. 9). Последнее, на взгляд авторов, объясняется «лавиным» накоплением голоценовых отложений в участках их опробования.

Завершая рассмотрение физических характеристик грунтов, слагающих осадочный чехол Баренцевоморского шельфа, следует отметить, что всем генетическим типам отложений, наблюдаемым в четвертичном разрезе региона, присуща общая закономерность - наличие определенной прямой связи между числом пластичности и границей текучести (см. рис. 5). Такая особенность морских глинистых отложений ранее была показана А.В. Скемптоном [Skempton, 1970].

На примере выделенных типов отложений рассмотрим инженерно-геологические особенности осадков ССК I. Глины этого сейсмостратиграфического комплекса, в отличие от глин ССК II, содержат не более 65-68% фракции Г (см. рис. 7). В них в значительных количествах присутствуют фракции А и П, в среднем составляющие 27 и 5% соответственно; встречается ГОМ (<1%). Глины имеют плотность 1,40-1,47 г/см³. Алевроиты на 67-78% состоят из фракции А. Среднее содержание фракций Г, П и ГОМ составляет 19; 8 и менее 1% соответственно. Алевроиты обладают плотностью 1,77-1,96 г/см³. Мелкозернистые пески на 65-74% сложены фракцией П; среднее содержание фракций Г, А и ГОМ - 3; 25 и менее 1% соответственно. Плотность песков составляет 1,73-

Заклучение

Четвертичный осадочный чехол в восточной части Баренцевоморского шельфа состоит из пяти сейсмостратиграфических комплексов (снизу вверх): ССК VII - московский (обычная морена); ССК V - нижневалдайский (обычная морена); ССК III - верхневалдайский, включающий две сейсмofации - СФ III-С (обычная морена) и СФ III-П (М-морена); ССК II - позднеледниковый (гляциоморские отложения); ССК I - голоценовый (морские осадки).

ССК VII встречается весьма ограниченно. ССК V развит на 1/5-2/5 общей площади шельфа. ССК III, II и I, отложения которых сформированы во время последнего гляциоседиментационного цикла, имеют наиболее широкое распространение. ССК II отсутствует лишь в области сравнительного мелководья (<90-100 м) - в зоне активного абразионного влияния позднеледниково-голоценовой гляциоэвстатической морской трансгрессии. ССК III и I развиты на шельфе повсеместно. В составе ССК III доминирует обычная морена СФ III-С; М-морена СФ III-П образует немногочисленные гигантские ареалы. Среди морских отложений ССК I в открытой акватории Баренцева моря преобладают алевроито-глинистые осадки, сравнительно небольшим развитием пользуются мелкозернистые пески.

За исключением ССК VII, все остальные сейсмостратиграфические подразделения четвертичного разреза в восточной части Баренцевоморского шельфа вскрыты инженерно-геологическими скважинами. Данные бурения свидетельствуют о том, что осадки, слагающие разные сейсмостратиграфические элементы четвертичного покрова, обладают определенным своеобразием физических свойств. Морена ССК VII по своим основным особенностям аналогична, по всей видимости, отложениям ССК V. Обычная морена ССК V (суглинки, реже глины) имеет высокую плотность, в основном твердую-полутвердую консистенцию, низкую влажность, переуплотнена. Обычная морена СФ III-С (суглинки, реже глины) в целом заметно отличается от морены ССК V более низкой плотностью, более высокой влажностью, зачастую тугопластичной консистенцией; однако она сходна с последней переуплотненным состоянием, также вызванным ледниковой нагрузкой, и наличием отдельных значений сопротивления сдвигу, которые свойственны и нижележащим мезозойским отложениям. М-морена (в равной мере суглинки и глины) имеет высокую влажность, консистенцию от текучей-текучепластичной до тугопластичной, находится в нормально уплотненном состоянии, будучи консолидированной лишь под влиянием литостатической нагрузки. ССК II в своем наиболее типичном выражении представлен коричневыми глинами с исключительно высоким содержанием глинистой фракции.

Эти глины имеют низкую плотность, высокую влажность, текучую-текучепластичную, реже мягкопластичную консистенцию и обычно недоуплотнены. Морские отложения ССК I обладают самым широким спектром гранулометрического состава, определяемого главным образом гидродинамическим режимом области накопления; весьма изменчива и плотность отложений. Осадки отличает высокая влажность, преимущественно текучая-текучепластичная консистенция и слабая уплотненность.

Таким образом, сейсмостратиграфия четвертичного осадочного чехла может рассматриваться как основа прогнозной оценки инженерно-геологических условий Баренцевоморского шельфа. Представляется очевидным, что в акваториях, подлежащих промышленно-хозяйственному освоению, целесообразно первоочередное проведение подробных сейсмостратиграфических исследований. Результаты последних, дополненные данными инженерно-геологического бурения, позволят получить достаточно полную объективную картину внутреннего пространственного устройства изучаемого грунтового массива и, таким образом, будут способствовать оптимизации всего комплекса последующих работ.

Авторы выражают благодарность руководству ОАО «Арктические морские инженерно-геологические экспедиции» (ОАО «АМИГЭ», г. Мурманск) за предоставление материалов сейсмоакустических исследований и данных инженерно-геологического бурения и руководству Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург) за предоставление сейсмоакустических материалов.

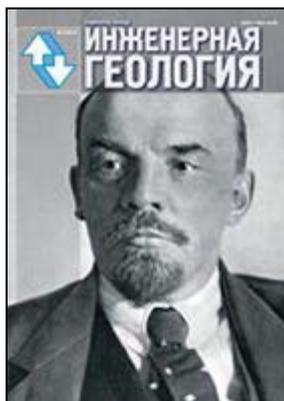
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баренцевская шельфовая плита / под ред. И.С. Грамберга. Л.: Недра, 1988. 263 с.
2. *Гольдштейн М.Н.* Механические свойства грунтов. М: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1952. 260 с.
3. ГОСТ 25100-82. Грунты. Классификация. М.: Изд-во стандартов, 1982. 9 с.
4. *Дибнер В.Д.* [«Древние глины» и рельеф Баренцево-Карского шельфа - прямые доказательства его покровного оледенения в плейстоцене](#) // Труды ААНИИ. Т. 285. Проблемы полярной географии. Л.: Гидрометеиздат, 1968. С. 118-122.
5. *Длугач А.Г.* Обобщение сейсмоакустических данных, полученных в сложных сейсмогеологических условиях Печорского моря и Байдарацкой губы. Мурманск: Изд-во АМИГЭ, 1995. 122 с.
6. *Длугач А.Г., Антоненко С.В.* Изучение основных закономерностей пространственного распределения и строения криолитозоны Баренцево-Карского шельфа в связи с поисками и освоением нефтегазовых месторождений. Мурманск: Изд-во АМИГЭ, 1996. 271 с.
7. *Длугач А.Г., Локтев А.С., Рокос С.И.* Инженерно-геологическая съемка площадки «Андреевская-1». Мурманск: Изд-во АМИГЭ, 1988. 183 с.
8. *Ельников И.Н., Гайнанов В.Г., Стручков В.А.* Опыт определения эффективных скоростей при непрерывном сейсмическом профилировании с двумя приемными системами // Океанология. 1978. Т. 18. Вып. 3. С. 550-556.
9. *Кленова М.В.* Геология Баренцева моря. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 367 с.
10. *Крапивнер Р.Б.* [Происхождение диамиктонов Баренцевоморского шельфа](#) // Литология и полезные ископаемые. 2009. № 2. С. 132-148.
11. *Крапивнер Р.Б.* [Происхождение слабоконсолидированных осадков Баренцевоморского шельфа](#) // Литология и полезные ископаемые. 2009. № 1. С. 96-110.
12. *Крапивнер Р.Б., Гриценко И.И., Костюхин А.И.* Позднекайнозойская сейсмостратиграфия и палеогеография Южно-Баренцевоморского региона // Четвертичная палеоэкология и палеогеография Северных морей. М.: Наука, 1988. С. 103-123.
13. *Крапивнер Р.Б., Гриценко И.И., Костюхин А.И.* Сейсмостратиграфия новейших отложений Южно-Баренцевоморского региона // Кайнозой шельфа и островов Советской Арктики. Л.: ПГО «Севморгеология», 1986. С. 7-14.
14. *Лаврушин Ю.А., Эпштейн О.Г.* Геологические события плейстоцена на севере Восточной Европы и в южной части Баренцева моря (по материалам изучения естественных опорных разрезов) // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. 2001. №64. С. 35-60.
15. *Мельников В.П., Спесивцев В.И.* Инженерно-геологические и геокриологические условия шельфа Баренцева и Карского морей. Новосибирск: Наука, 1995. 198 с.
16. *Самойлович Ю.Г., Скоробогатько А.В.* [Стратиграфическое расчленение новейших отложений Кольского шельфа](#) // Кайнозой шельфа и островов Советской Арктики. Л.: Изд-во ПГО «Севморгеология», 1986. С. 15-22.
17. Сейсмическая стратиграфия / под ред. Ч. Пейтона. Т. 1, 2. М.: Мир, 1982. 846 с.
18. *Старовойтов А.В.* Сейсмоакустические исследования ледниковых отложений восточной части шельфа Баренцева моря // Разведка и охрана недр. 2002. № 7. С. 27-31.

19. [Старовойтов А.В. О максимальном позднеплейстоценовом оледенении восточной части шельфа Баренцева моря](#) // Доклады Академии наук. 1999. Т. 364. № 2. С. 227-230.
20. *Троицкий С.Л.* Современный антигляциализм. М: Наука, 1975. 160 с.
21. *Эпштейн О.Г.* Верхнекайнозойские гляциальные шельфы - важнейшие элементы строения и развития континентальных окраин и океанического плато // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2011. Т. 86. Вып. 2. С. 76-96.
22. *Эпштейн О.Г.* Гляциотектониты - базальная зона четвертичного покрова юго-восточной части Баренцева моря // Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. М.: ГЕОС, 2007. С. 477-480.
23. *Эпштейн О.Г.* Комплексное обоснование расчленения и разработка схем строения покрова новейших отложений в основных нефтегазоперспективных районах Баренцева моря. Рига: Изд-во ВНИИморгео, 1990. 168 с.
24. *Эпштейн О.Г.* Позднеплейстоценово-голоценовый цикл осадконакопления на гляциальных шельфах // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2012. Т. 87. Вып. 3. С. 3-19.
25. *Эпштейн О.Г.* Создание литостратиграфической основы и разработка рекомендаций по методике проведения инженерных изысканий в глубоководных районах Баренцева моря. Рига: Изд-во ВНИИморгео, 1987. 176 с.
26. *Эпштейн О.Г., Длугач А.Г., Старовойтов А.В., Романюк Б.Ф.* Плейстоценовые отложения восточной части Баренцева моря (районы Центральной впадины и Мурманской банки). Сообщение 1. Условия залегания и основные черты строения // Литология и полезные ископаемые. 2011. № 2. С. 132-153.
27. *Эпштейн О.Г., Длугач А.Г., Старовойтов А.В., Романюк Б.Ф.* Плейстоценовые отложения восточной части Баренцева моря (районы Центральной впадины и Мурманской банки). Сообщение 2. Литологический состав и условия образования // Литология и полезные ископаемые. 2011. № 3. С. 249-281.
28. *Эпштейн О.Г., Лаврушин Ю.А.* Гляциоморская седиментация как особая стадия шельфового осадконакопления // Доклады Академии наук. 2003. Т. 393. № 4. С. 521-523.
29. *Эпштейн О.Г., Лаврушин Ю.А., Валпетер А.П. и др.* Четвертичные отложения юго-востока Баренцева моря и прилегающего палеошельфа // Доклады Академии наук. 1983. Т. 272. № 1. С. 180-183.
30. *Эпштейн О.Г., Старовойтов А.В., Длугач А.Г.* «Мягкие» морены в Арктике и Антарктике - новый фациальный тип ледниковых отложений // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2010. Т. 85. Вып. 2. С. 23-44.
31. *Эпштейн О.Г., Чистякова И.А.* Печороморский шельф в позднем валдае-голоцене: основные седиментологические и палеогеографические события // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. 2005. № 66. С. 107-123.
32. *Яшин Д.С., Кошелева В.А.* Плейстоценовые отложения Баренцево-Карского шельфа // Кайнозой шельфа и островов Советской Арктики. Л.: Изд-во ПГО «Севморгеология», 1986. С. 56-62.
33. *Яшин Д.С., Кошелева В.А.* Принципы стратификации четвертичной толщи Баренцево-Карского шельфа // Тезисы докладов Всероссийского совещания «Главнейшие итоги в изучении четвертичного периода и основные направления исследований в XXI веке». СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. С. 213-214.
34. *Banham P.H.* [Glacitectorites in till stratigraphy](#) // Boreas. 1977. V. 6. P. 101-105.
35. *Elverhøi A.* [Glacigenic and associated marine sediments in the Weddell Sea, fjords of Spitsbergen and the Barents Sea: review](#) // Marine Geology. 1984. V. 57. P. 53-88.
36. *Faleide J.I., Solheim A., Fielder A., Hjelstuen B.O., Andersen E.S., Vanneste K.* [Late Cenozoic evolution of the western Barents Sea-Svalbard continental margin](#) // Global and Planetary Change. 1996. V. 12. P. 53-74.

37. Sæettem J., Poole D.A.R., Illigsen L., Sejrup H.P. [Glacial geology of outer Bjørnøyerenna, southeastern Barents Sea](#) // Marine Geology. 1992. V. 103. P. 15-31.
38. Skempton A.W. [The consolidation of clay by gravitational compaction](#) // Quarterly journal of the Geological Society of London. 1970. V. 125. № 499. Part 3. P. 373-411.
39. Solheim A., Kristoffersen Y. Sediments above the upper regional unconformity: thickness, seismic stratigraphy and outline of glacial history. Oslo: Norsk Polarinstitut Skrifter, 1984. 26 p.
40. Yilmaz I. [Evaluation of shear strength of clayey soils by using their liquidity index](#) // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2000. V. 59. № 3. P. 227-229.

Ссылка на статью:



Эпштейн О.Г., Длугач А.Г., Старовойтов А.В. Сейсмостратиграфия осадочного покрова как основа прогноза инженерно-геологических условий Баренцевоморского шельфа // Инженерная геология. 2014. № 5. С. 30-41.