

## **Инженерно-геологическая стратификация Западно-Арктической нефтегазоносной провинции**

*С.А.Козлов, ВНИИОкеангеология МПР России, Санкт-Петербург*

Выделена последовательность инженерно-геологических комплексов и мегагоризонтов, слагающих Западно-Арктическую нефтегазоносную провинцию. Приведены данные об условиях формирования, составе и физико-механических свойствах горных пород и отложений.

The sequence of engineering-geological complexes and the megahorizons composing West-Arctic hydrocarbonic province is allocated. The data on conditions of formation, structure and physicommechanical properties of rocks and adjournment are given.

В результате цикла работ на нефть и газ на Баренцево-Карском шельфе, выполненных в 1970-80-х гг. силами Министерства геологии и топливно-энергетических ведомств страны, была открыта и подготовлена к освоению *Западно-Арктическая нефтегазоносная провинция* (включающая нефтегазоносные и перспективные структуры Баренцева с Печорским и Карского морей), недра которой содержат до 80% ресурсов арктического шельфа России (по современному состоянию изученности). В пределах провинции было выявлено и разведано более 10 промышленных нефтяных, нефте-, газоконденсатных и газовых месторождений, включая 4 уникальных (Штокмановское и Ледовое в Баренцевом море, Ленинградское и Русановское – в Карском) и 4 крупных. В 1995 году за это открытие группе учёных и геологоразведчиков во главе с академиком И.С.Грамбергом была присуждена Государственная премия России.

На Западно-Арктическом шельфе России усилиями специалистов морской геологической отрасли открыты не только акваториальные продолжения бассейнов суши (Тимано-Печорская и Западно-Сибирская НГП), но и самостоятельные, возможно, более богатые шельфовые нефтегазоносные бассейны (Баренцевская НГП). Доля продуктивных скважин на Баренцево-Карском шельфе достигает 70 %, прирост запасов на одну скважину превышает 100 млн т УТ, а средние запасы на одно открытое за последние годы месторождение почти в 50 раз превышают соответствующий показатель для суши. В ближайшие годы Западно-Арктический шельф России станет областью интенсивной разработки морских месторождений нефти и газа, среди которых нефтяные Приразломное и Варандейское, газоконденсатное Штокмановское и многие другие; будут установлены нефтегазодобывающие платформы, созданы терминалы и насосные станции, построена сеть трубопроводов.

К настоящему времени выполнены разрозненные инженерно-геологические работы на нефтегазоперспективных площадях Баренцево-Карского шельфа (АМИГЭ, МАГЭ), на месторождениях ракушняков и трассах проектируемых коммуникаций (МАГЭ, ВНИИОкеангеология), на объектах геоэкологического изучения (рис. 1). Назрела острая необходимость регионального обобщения инженерно-геологических условий Западно-Арктической нефтегазоносной провинции как системы знаний о геологической среде шельфа, позволяющей прогнозировать её взаимодействие с морскими нефтегазопромысловыми сооружениями.

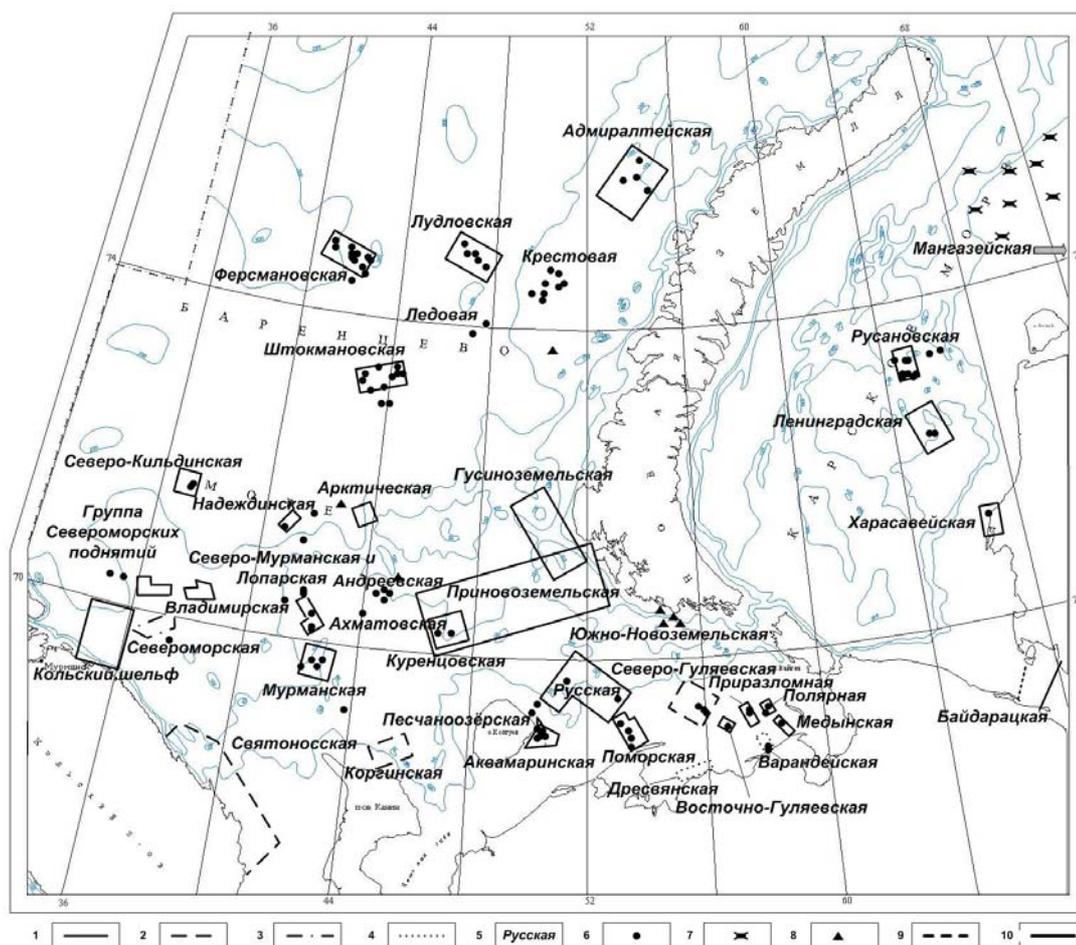


Рис. 1. Схема инженерно-геологической изученности Западно-Арктической нефтегазоносной провинции.

Условные обозначения: границы площадей инженерно-геологических исследований масштаба 1:200000-1:50000, изученных: 1 – АМИГЭ (до 1988 г. – АКМГЭ НПО «Союзморинжгеология»), 2 – МАГЭ (до 1981 г. – КМАГЭ НПО «Севморгеология»), 3 – трест «Севморнефтегазгеофизразведка» (до 1985 г. – ММГГНЭ ВМНПО «Союзморгео»), 4 – БМГГЭ ВМНПО «Союзморгео» и ВНИИморгео; 5 – название площадей; 6 – инженерно-геологические скважины; 7 – станции пробоотбора Международной морской экспедиции (1993 г.); 8 – станции проотбора ПМГРЭ (1996 г.); трассы проектируемого газопровода, изученные детальной инженерно-геологической съёмкой: 9 – НПО «Севморгео» и ВНИИморгео (1976 г.), 10 - АМИГЭ (1988-1989 гг.).

В основу предлагаемой автором оценки инженерно-геологических условий региона положено разделение геологического разреза на инженерно-геологические комплексы, горизонты и мегагоризонты.

Термин «инженерно-геологический комплекс» принят в формулировке А.А.Маккавеева [Словарь..., 1961]. *Инженерно-геологические комплексы* содержат толщи горных пород или донных осадков, расположенных стратиграфической последовательности, характеризующихся сходством (выражающимся в принадлежности грунтов комплекса к одной-двум инженерно-геологическим группам [Методические..., 1998]) или закономерной изменчивостью инженерно-геологических характеристик. Инженерно-геологические комплексы состоят из одного или нескольких горизонтов.

*Инженерно-геологические горизонты* характеризуются сходными условиями образования горных пород или донных осадков, близостью их фациально-литологического состава и возраста. Горизонт может состоять целиком из однородных грунтов, входящих в одну подгруппу или, сохраняя преобладание одной подгруппы (реже – двух). Выделение инженерно-геологических горизонтов применимо для среднемасштабных и мелкомасштабных карт. На обзорных инженерно-геологических картах масштаба мельче 1:1500000 целесообразно ограничиться выделением инженерно-геологических комплексов и мегагоризонтов.

*Инженерно-геологические мегагоризонты* занимают промежуточное положение между комплексами и горизонтами, объединяют один или два (реже – три) горизонта, чередующихся на обширных площадях.

В пределах Западно-Арктической нефтегазоносной провинции можно выделить следующие инженерно-геологические комплексы (табл. 1):

- Архейско-протерозойских скальных пород высокой прочности, определяющих особенности зон берегового примыкания трубопроводов на Кольском полуострове;
- Палеозойских полускальных пород, инженерно-геологические свойства которых определяют особенности добычи углеводородов в субаквальной части Тимано-Печорской НГП (месторождения Поморское, Приразломное, Варандей-море, Медыньское-море и др.);
- Мезозойско-кайнозойских мягких, рыхлых и полускальных грунтов, инженерно-геологические свойства которых определяют особенности добычи углеводородов (и связанной с ней осадкой донной поверхности) в Баренцевской НГП и субаквальном продолжении Западно-Сибирской НГП (месторождения Мурманское, Штокмановское, Ледовое, Ленинградское, Русановское и др.);
- Плейстоценовых мягких и рыхлых грунтов морского, ледниково-морского, флювиогляциального и аллювиально-морского происхождения, инженерно-геологические свойства которых во многом определяют характер размещения придонных нефтегазопромысловых сооружений месторождения углеводородов;
- Современных слабых и рыхлых покровных грунтов морского, аллювиально-морского, ледниково-морского, морского биогенного и элювиально-делювиального происхождения, инженерно-геологические свойства которых в первую очередь определяют характер механического и криогенного взаимодействия с подводными трубопроводами.

Таблица 1

## Инженерно-геологические комплексы и мегагоризонты Западно-Арктической нефтегазоносной провинции

Инженерно-геологические мегагоризонты	Параметры физико-механических свойств*				
	Влажность, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Коэффициент пористости	Удельное сцепление кПа	Угол внутреннего трения, °
-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-
<i>I. Комплекс современных слабых и рыхлых грунтов морского, аллювиально-морского, ледниково-морского, биогенного и элювиально-делювиального происхождения</i>					
I <sub>1</sub> Илы глинистые вязкотекучие и текучепластичные, локально переслаивающиеся с илами суглинистыми и супесями m(Q <sup>4</sup> <sub>III</sub> – Q <sub>IV</sub> )	<u>29-211</u> 75(1542)	<u>1,21-1,99</u> 1,56(1401)	<u>0,77-5,52</u> 2,12(752)	<u>1-11</u> 5(241)	0
I <sub>2</sub> Илы суглинистые вязкотекучие и текучепластичные, часто с прослоями супесей m(Q <sup>4</sup> <sub>III</sub> – Q <sub>IV</sub> )	<u>22-99</u> 46(285)	<u>1,44-2,08</u> 1,76(178)	<u>0,73-2,08</u> 1,31(132)	<u>3-12</u> 5(49)	<u>0-5</u> 4(38)
	<u>19-40</u> 27(169)	<u>1,47-2,09</u> 1,93(154)	<u>0,61-0,90</u> 0,77(84)	<u>2-13</u> 9(4)	<u>7-24</u> 16(5)
I <sub>3</sub> Пески мелкие и пылеватые, реже – средней крупности, переслаивающиеся с супесями, с редкими включениями гравия и гальки m,am,gm Q <sub>IV</sub>	<u>19-48</u> 27(368)	<u>1,67-2,26</u> 1,96(195)	<u>0,45-1,11</u> 0,70(155)	<u>0-9</u> 3(16)	<u>23-36</u> 29(16)
	Супеси – см. I <sub>2</sub>				
I <sub>4</sub> Илы глинистые и суглинистые вязкотекучие, часто с включениями песчаного материала am Q <sub>IV</sub>	<u>50-192</u> 92(84)	<u>1,30-1,71</u> 1,53(84)	<u>1,33-5,05</u> 2,41(84)	<u>2-10</u> 4(70)	0
I <sub>5</sub> Пески ракушняковые, часто с примесью илесто-глинистого материала mb Q <sub>IV</sub>	<u>11-23</u> 20(31)	<u>1,42-2,01</u> 1,84(31)	<u>0,63-1,06</u> 0,80(31)	<u>0-24</u> 10(31)	<u>10-42</u> 28(31)
I <sub>6</sub> Дресва, щебень, валуны с супесчаным, реже суглинистым заполнителем ed Q <sub>IV</sub>	-	<u>2,13-2,28</u> 2,18(20)	<u>0,27-0,64</u> 0,57(20)	<u>3-8</u> 4(5)	<u>22-32</u> 29(5)

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-
<i>II. Комплекс плейстоценовых мягких и рыхлых грунтов морского, ледниково-морского, флювиогляциального и аллювиально-морского происхождения</i>					
II <sub>1</sub> Глины неяснослоистые, иногда с тонкими песчано-пылеватыми прослойками, редкими включениями гравия mQ <sub>III</sub>	<u>20-110</u> 49(230)	<u>1,52-2,07</u> 1,79(235)	<u>0,60-1,70</u> 1,21(213)	<u>2-70</u> 13(101)	<u>1-25</u> 6(90)
II <sub>2</sub> Суглинки мореноподобные, супеси, мелкие пески, с гравием, галькой, валунами и щебнем; глины неяснослоистые gm,mQ <sub>III</sub>	Суглинки мореноподобные				
	<u>16-71</u> 30(367)	<u>1,63-2,15</u> 1,95(312)	<u>0,43-1,31</u> 1,79(213)	<u>4-40</u> 14(116)	<u>1-35</u> 8(33)
	Супеси				
	<u>18-40</u> 24(120)	<u>1,66-2,19</u> 1,96(54)	<u>0,40-1,27</u> 0,70(52)	<u>0-70</u> 16(20)	<u>4-30</u> 20(15)
	Пески мелкие				
	-	<u>1,72-1,94</u> 1,84(7)	<u>0,73-0,92</u> 0,85(7)	<u>0-3</u> 2(7)	<u>15-27</u> 20(5)
	Глины неяснослоистые – см. II <sub>1</sub>				
II <sub>3</sub> Глины ленточнослоистые с прослойками мелкого песка и редким гравием amQ <sub>III</sub>	Глины ленточнослоистые				
	<u>14-50</u> 29(42)	<u>1,72-2,12</u> 1,88(40)	<u>0,44-1,30</u> 0,82(36)	<u>26(1)</u>	<u>22(1)</u>
	Пески мелкие				
	<u>15-28</u> 23(22)	<u>1,67-2,07</u> 1,91(15)	<u>0,58-1,05</u> 0,74(14)	<u>0-3</u> 2(7)	<u>15-27</u> 20(5)
	Пески разнородные				
II <sub>4</sub> Пески разнородные с галечниками, песчано-гравийно-галечные отложения fgQ <sub>III</sub>	-	<u>1,93-2,10</u> 1,98(30)	<u>0,65-0,70</u> 0,69(30)	<u>0(1)</u>	<u>36(1)</u>
	Галечники				
	-	<u>2,04-2,16</u> 2,10(7)	<u>0,50-0,65</u> 0,60(7)	<u>0(7)</u>	<u>38-40</u> 39(7)
	Песчано-гравийно-галечные отложения				
	-	<u>2,03-2,17</u> 2,09(2)	<u>0,40-0,53</u> 0,47(2)	<u>0(2)</u>	<u>26-29</u> 28(2)
II <sub>5</sub> Глины, мореноподобные суглинки, иногда переслаивающиеся с мелким песком m, gm Q <sub>B-II</sub>	Глины				
	<u>14-66</u> 39(231)	<u>1,34-2,21</u> 1,81(218)	<u>0,46-2,30</u> 1,14(201)	<u>2-26</u> 11(154)	<u>1-20</u> 3(138)
	Суглинки мореноподобные				
	<u>10-42</u> 21(332)	<u>1,77-2,26</u> 2,07(292)	<u>0,36-1,30</u> 0,62(230)	<u>8-160</u> 45(45)	<u>8-26</u> 20(25)

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-
<i>III. Комплекс мезозойско-кайнозойских мягких, рыхлых и полускальных грунтов</i>					
III Глины, суглинки, супеси, пески, песчаники, алевролиты, аргиллиты Т-N	Глины				
	<u>17-39</u> 25(59)	<u>1,78-2,25</u> 2,02(30)	<u>0,58-0,96</u> 0,71(30)	<u>12-140</u> 65(7)	<u>5-27</u> 11(7)
	Суглинки				
	<u>11-26</u> 19(5)	<u>1,87-2,23</u> 2,07(8)	<u>0,43-0,67</u> 0,56(6)	<u>12-70</u> 47(3)	<u>27-35</u> 30(3)
	Супеси				
	<u>10-29</u> 23(7)	<u>1,96-2,28</u> 2,09(3)	<u>0,42-0,65</u> 0,56(3)	-	-
	Пески				
	<u>21-28</u> 26(4)	<u>1,90-2,15</u> 2,01(4)	<u>0,50-0,84</u> 0,69(4)	-	-
Алевролиты					
<u>5-13</u> 7(17)	<u>2,63-2,65</u> 2,64(3)	<u>0,07-0,09</u> 0,08(2)	R <sub>сж</sub> =30-280 МПа		
<i>IV. Комплекс средне-верхнепалеозойских полускальных прочных пород</i>					
IV <sub>1</sub> Песчаники, аргиллиты, алевролиты, сланцы, известняки S-P	Песчаники				
	-	<u>2,51-2,75</u> 2,65(3)	<u>0,13-0,27</u> 0,20(3)	R <sub>сж</sub> =6-90 МПа	
	Известняки				
-	<u>2,50-2,86</u> 2,63(2)	<u>0,04-0,15</u> 0,10(2)	R <sub>сж</sub> =63-209 МПа		
Сланцы					
-	<u>2,40-2,69</u> 2,50(10)	<u>0,01-0,04</u> 0,02(5)	R <sub>сж</sub> =4-210 МПа		
<i>V. Комплекс архейско-протерозойских скальных пород высокой прочности</i>					
V <sub>1</sub> Граниты, гранитогнейсы, кристаллические сланцы, габбро-диабазы, кварциты, амфиболиты, доломиты окварцованные, мрамора, известняки, аргиллиты AR-PR	Граниты				
	-	2,57-3,10 2,82(5)	0,03-0,34 0,10(7)	R <sub>сж</sub> =111-370 МПа	
	Гнейсы				
	-	2,34-3,10 2,60(15)	0,01-0,40 0,08(15)	R <sub>сж</sub> =9-316 МПа	
	Габбро-диабазы				
	-	2,98-3,00 2,99(2)	0,03-0,40 0,10(5)	R <sub>сж</sub> =310-350 МПа	
Доломиты окварцованные					
-	2,66-2,80 2,75(10)	0,12-0,35 0,25(10)	R <sub>сж</sub> =225-228 МПа		

## Архейско-протерозойские и палеозойские скальные и полускальные породы

*Архейско-протерозойские* горные породы, объединяются в единый инженерно-геологический комплекс, включающий скальные кристаллические породы высокой прочности, иногда переходящие в зоне выветривания в полускальные. В рамках комплекса могут быть выделены три инженерно-геологических мегагоризонта, в разной степени представленных (проявленных) в обрамлении Западно-Арктической нефтегазоносной провинции [Баренцевская., 1988]. Нижнеархейский мегагоризонт, характеризующий нуклеарную стадию развития земной коры, представлен на северном побережье Кольского полуострова олигоклазовыми плагиогранитами, чарнокитами, гранодиоритами, гнейсами, амфиболитами кольской серии. Верхнеархейско-нижнепротерозойский мегагоризонт соответствует протогеосинклинальному режиму, сложен гнейсами и сланцами низкой степени метаморфизма, переслаивающимися с амфиболитами.

Верхнепротерозойский мегагоризонт, отвечающий времени существования байкальской геосинклинальной области, на Кольском полуострове представлен двумя разнородными толщами. Субплатформенная, сложенная песчаниками, мергелями, доломитами, песчано-аргиллитовыми отложениями, прослеживается в узкой прибрежной полосе - на полуострове Средний, островах Айнова и Кильдине. Геосинклинальная толща «аллохтонного комплекса», распространённая преимущественно на полуострове Рыбачий, представляет собой мощную флишоидную серию, обладающую разнопорядковой цикличностью и общей трансгрессивной последовательностью фаций грубообломочных и глинисто-карбонатных отложений.

Для комплекса характерны породы с весьма высокими прочностными и плотностными показателями, обеспечивающими их гарантированное использование в качестве надёжного основания инженерных сооружений: граниты ( $\rho = 2,57-3,10$  г/см<sup>3</sup>;  $R_{сж} = 111-370$  МПа), гнейсы ( $\rho = 2,34-3,10$  г/см<sup>3</sup>;  $R_{сж} = 9-316$  МПа), габбро-диабазы ( $\rho = 2,98-3,00$  г/см<sup>3</sup>;  $R_{сж} = 310-350$  МПа); окварцованные доломиты ( $\rho = 2,66-2,80$  г/см<sup>3</sup>;  $R_{сж} = 225-230$  МПа). Древние коры выветривания, как правило, полностью уничтожены ледниковой экзарацией, что предопределяет, как правило, слабовыветрелый характер выходящих на донную и береговую поверхность горных пород комплекса.

*Палеозойские* полускальные породы представлены платформенными, преимущественно карбонатными отложениями мощностью до 2-6 км, эпикарельского, эпибайкальского, эпикаледонского или эпигерцинского возрастного цикла. Их также можно объединить в единый комплекс пород с близкими физико-механическими свойствами, включающий в свой состав плотные и прочные породы: песчаники ( $\rho = 2,51-2,75$  г/см<sup>3</sup>;  $R_{сж} = 6-90$  МПа), известняки ( $\rho = 2,50-2,86$  г/см<sup>3</sup>;  $R_{сж} = 63-209$  МПа), сланцы ( $\rho = 2,40-2,69$  г/см<sup>3</sup>;  $R_{сж} = 4-210$  МПа). Породы названного инженерно-геологического комплекса, как правило, достигли верхних пределов плотности и прочности, обладают относительно незначительной пространственной изменчивостью, связанной, в основном, с приближением к зонам субаквального и субаэрального выветривания.

В некоторых случаях можно прогнозировать развитие среди палеозойских карбонатных отложений карста. Это относится, в частности, к подвергшимся многочисленным региональным размывам ордовикско-девонским, большей частью карбонатным, отложениям, вскрытым отдельными скважинами на территории Печорской синеклизы, на острове Колгуев и архипелаге Шпицберген.

## Мезозойско-кайнозойские (дочетвертичные) полускальные, мягкие и рыхлые отложения

В поздней перми – раннем триасе, при резкой смене карбонатного осадконакопления на терригенное, образуется пограничный орогенный пояс и оформляется Арктическая геодепрессия [Погребницкий, 1976]. Начало триаса характеризуется обширной трансгрессией в северной части Баренцевоморского региона, особенно усилившейся в оленекском веке. В разрезах скважин и обнажений на шельфе (архипелагах) триасовые отложения вскрываются практически повсеместно, достигая наибольших мощностей в пределах Южно-Баренцевской, Северо-Баренцевской и Северо-Новоземельской впадин. Залегают триасовые отложения, как правило, с размывом на горизонтах верхней перми. По особенностям вещественного состава на акватории выделяются несколько типов разреза [Баренцевская, 1988]:

1. *Западно-Баренцевский*. Здесь нижний отдел представлен индским и оленекским ярусами общей мощностью около 900 м: красноцветными, пёстроцветными и сероцветными породами с прослоями алевролитов и песчаников (Т<sub>1i</sub>), переходящими вверх по разрезу в серо-зелёно- и пестроцветные аргиллиты и аргиллитоподобные глины с прослоями мелкозернистых песчаников и известковистых алевролитов (Т<sub>1o</sub>). Средний отдел (190-200 м) представлен анизийским и ладинским ярусами: серыми и пестроцветными преимущественно глинистыми и алевроито-глинистыми отложениями, реже – песчаниками и алевролитами. Верхний отдел в объёме карнийского и низов норийского ярусов представлен преимущественно сероцветными песчано-алевроитовыми и алевроито-глинистыми породами (до 280 м).

2. *Колгуевский*. Нижний отдел представлен яркоокрашенными песчаниками, алевролитами и глинами с кальцитовыми стяжениями и бобовинами гидроокислов железа (до 900 м). Средний триас – пёстроцветные глины и алевролиты с прослоями мелкозернистых песчаников (160-340 м). Верхний триас (верхи норийского яруса отсутствуют) представлен сероцветными слоистыми глинами и алевролитами с подчинёнными прослоями мелкозернистых песчаников (150-335 м).

3. *Южно-Баренцевский*. Нижний триас представлен чередованием коричневатокрасных и красно-фиолетовых аргиллитов с серовато-зелёными алевролитами (500-750 м). Средний триас – сероцветные аргиллитоподобные глины и крупнозернистые алевролиты с редкими прослоями песчаников (до 460 м). Верхний триас (в объёме карнийского и нижней части норийского ярусов) представлен сероцветными глинами, глинисто-алевроитовыми образованиями и песчаниками (420-440 м).

4. *Новоземельский*. Нижний триас в пределах вала Адмиралтейства представлен тёмно-серыми аргиллитами с включениями пирита (Т<sub>1i</sub>) и преимущественно красноцветными песчано-глинистыми породами с прослоями алевролитов и тёмно-серых аргиллитов с тонкими линзами угля (Т<sub>1o</sub>). Мощность нижнетриасовых отложений 1467 м. Средний триас хорошо изучен на Крестовой, Лудловской и Фермановской площадях, представлен переслаиванием аргиллитов, песчаников и алевролитов. В отдельных прослоях отмечаются углефицированные растительные остатки и пропластки углей. Мощность колеблется от 800 до 1100 м. Верхний триас представлен карнийским и норийским ярусами. Карнийская часть разреза – преимущественно песчаники мелкозернистые, кварцевые и полимиктовые, с прослоями углистых пород мощностью 300-350 м. Норийские отложения представлены переслаиванием аргиллитов, алевролитов и песчаников, мощность 250-590 м.

В юрский период продолжается общее погружение региона Западноарктического шельфа, к средней юре происходит постепенное становление морских условий на всём Баренцевском и севере Карского шельфов. С конца кимерижда, и особенно в волжском веке, в центральных

частях седиментационного бассейна появились впадины глубиной свыше 200м, в которых аккумуляровались преимущественно тонкослоистые глинистые осадки, обогащённые органическим веществом – битуминозные «чёрные» глины. Такие относительно глубоководные отложения установлены в Енисей-Хатангском прогибе, на архипелаге Земля Франца-Иосифа, на поднятии Персея, в Южно-Баренцевской впадине, на о.Колгуев. Юрско-меловые отложения покрывают весь шельф практически сплошным чехлом различной мощности (от 600 до 3200 м). Наиболее полный разрез вскрывается в Южно-Баренцевской впадине. Здесь юрские отложения, представленные тремя отделами, залегают на триасовых с размывом.

Нижний отдел юрской системы представлен песчаными и крупноалевритовыми породами со значительной долей средне- и крупнозернистых песков с включениями гравия и гальки преимущественно кварцевого состава, мелкими линзами углей и карбонатными конкрециями. К югу, у острова Колгуев, отложения нижней юры имеют сходный состав. Мощность достигает 400 м.

Среднеюрские отложения представлены крупными пачками песчаных, алевритовых и глинистых пород, чередующихся как по простирацию, так и в разрезе. Мощность 300-320 м. К югу, у острова Колгуев, мощность уменьшается до 70-100 м, в разрезе преобладают слоистые алеврито-глинистые породы.

Верхнеюрские отложения представлены тёмно-серыми алеврито-глинистыми породами. В верхней части большинства разрезов вскрываются чёрные тонкослоистые глины. В пределах некоторых районов вследствие постюрского размыва этот интервал юрского разреза имеет мощность 20-30 м или отсутствует полностью.

На Западно-Арктическом шельфе повсеместно развиты слаболитифицированные нижнемеловые отложения. В общем плане они представлены серыми, зеленовато-серыми алевролитами, глинами, песчаниками с отдельными линзами и маломощными пачками бурых углей (550-1000 м). Нижнемеловые твёрдые суглинки обычно классифицируются океанологами как алевролиты, а твёрдые супеси – как тонкозернистые слабосцементированные песчаники, однако по результатам лабораторных испытаний выявлена необходимая для отнесения к мягким грунтам пластичность. Твёрдые суглинки, отобранные на Ферсмановской площади, являются песчанистыми (песчаная фракция – 48%, с преобладанием тонких зёрен (27%) над мелкими (18%), содержание пылеватых частиц - 35 %, глинистого материала – 16%. Суглинки Северо-Кильдинской площади отличаются более тонкодисперсным составом и относятся к пылеватым суглинкам (содержание пылеватых частиц – 48%), содержат 37% глинистых и 14% - песчаных (в основном – тонкопесчаных) частиц. Супеси, изученные на Ферсмановской площади, по гранулометрическому составу являются песчанистыми (суммарный состав песчаной фракции – 79%); при этом содержание мелких зёрен (48%) существенно больше, чем тонкопесчаных (29%).

Верхнемеловой комплекс представлен, в основном, алевритами и глинами, реже – слаболитифицированными песчаниками. На печороморском побережье литологический состав пород верхнего мела изменяется: появляются зелёные глауконитовые песчаники, аргиллиты и алевролиты с фосфоритовыми конкрециями. Мощность до 100-150 м.

Меловые породы в пределах дна Баренцево-Карского шельфа и под чехлом палеогеновых (отдельными пятнами) и неогеновых (разорванный чехол) отложений

представлены, почти повсеместно, неоднородными тонкослоистыми алеврито-глинистыми образованиями. Для них характерно неритмичное чередование глинистых тонкослоистых пластов, разделённых алеврито-песчаными и песчаными интервалами мощностью от нескольких десятков сантиметров до 10-15 м. Глинистая составляющая имеет твёрдую, реже полутвёрдую консистенцию.

Палеогеновые осадки имеют ограниченное распространение, они сохранились в локальных палеодепрессиях или в виде «пятен» на поверхности преимущественно верхнемеловых отложений. Верхняя часть комплекса представлена чёрными плотными глинами, имеющими в верхних горизонтах брекчевидно-комковатый облик. Основной разрез состоит из монолитно однородных или опесчаненных разностей с гнёздами и линзами песка и пыли.

Неогеновые грунты имеют широкое развитие в южных районах Баренцево-Карского шельфа и ограниченное - на всей остальной площади. В южной части неогеновая система представлена верхами миоцена и в полном объёме плиоценом. Имеет в основном алевритоглинистый состав, свидетельствующий о накоплении в условиях обширного морского бассейна, имеющего ограниченные связи с пограничными океанами (Норвежско-Гренландским и Северным Ледовитым). Песчаные, песчано-гравийные осадки имеют ограниченное распространение в основном в пределах палеодолин, которые своими устьевыми частями выходят на Печороморский шельф. Мощность неогеновых осадков в южной части шельфа достигает 100-150 м.

В комплекс входят преимущественно мягкие и рыхлые грунты позднемезозойско-среднекайнозойского возраста и полускальные мезозойские породы, отличающиеся плотным сложением и высокой (для осадочных пород) прочностью.

*Глины* мел-неогенового возраста характеризуются твёрдой или полутвёрдой консистенцией (показатель текучести – от (-0,50) до 0,25, 76 определений). Плотность составляет 1,78-2,25 г/см<sup>3</sup> (30 определений), влажность – 17-39% (59 определений). Прочность, судя по имеющимся данным, мало зависит от возраста глин. Так, например, изученные образцы плиоценовых глин имеют удельное сцепление 67-73 кПа, тогда как верхнемеловые глины обладают сцеплением 15-66 кПа (при близких значениях влажности, плотности и показателя текучести).

*Суглинки* мел-неогенового возраста, в силу большей полидисперсности, менее влажные (11-26%, 15 определений) и несколько более плотные (1,87-2,23 г/см<sup>3</sup>, 8 определений). Показатель текучести (от (-0,31) до 0,58, 15 определений) определяет твёрдый и пластичный характер консистенции суглинков. Удельное сцепление 12-79 кПа, что близко к глинам. Угол внутреннего трения значительно выше – 27-35°, в отличие от 5-27° у глин.

*Супеси* мел-неогенового возраста – достаточно плотные (1,96-2,28 г/см<sup>3</sup>, 3 определения), влажность 10-29% (7 определений).

*Пески* плиоценовые по своим физическим свойствам близки к супесям: их плотность 1,90-2,15 г/см<sup>3</sup>, влажность – 21-28% (4 определения).

*Алевролиты* мезозоя существенно уплотнены, их плотность может достигать 2,63-2,65 г/см<sup>3</sup>. Влажность – весьма низкая (5-13%, 17 определений). Прочные цементационные связи обеспечивают значительную прочность: предел сопротивления одноосному сжатию составляет 30-289 МПа, что позволяет отнести алевролиты к группе полускальных (и скальных) пород.

## Плейстоценовые мягкие и рыхлые грунты

Четвертичные отложения имеют повсеместное распространение; подошва четвертичных отложений, по данным сейсмоакустики, чётко выделяется, часто срезая наклонные, в большинстве случаев, площадки мезозойских отложений. Неоднородность физико-механических свойств четвертичных отложений различных горизонтов во многом определяется условиями четвертичного и в меньшей степени - позднемииоцен-плиоценового криогенеза. Западноарктический шельф промерзал в субэаральных условиях на протяжении нескольких регрессий моря: позднемииоценовой, при понижении уровня абсолютных отметок до (-400) м; среднеплиоценовой - до (-350) м; раннеплейстоценовой – до (-300) м; среднеплейстоценовой – до (-250) м; конца позднего плейстоцена – до (-140) м [Неизвестнов и др., 1995].

На Западно-Арктическом шельфе России в рамках комплекса эоплейстоцен-плейстоценовых мягких и рыхлых грунтов морского, ледниково-морского, флювиогляциального и аллювиально-морского происхождения выделяются 5 инженерно-геологических мегагоризонтов:

- ✓ Глины, мореноподобные суглинки, иногда переслаивающиеся с мелким песком  $m, gmQ_{E-II}$
- ✓ Глины неяснослоистые, иногда с тонкими песчано-пылеватыми прослойками, редкими включениями гравия  $mQ_{III}$
- ✓ Мореноподобные суглинки, супеси, мелкие пески, с гравием, галькой, валунами и щебнем; глины неяснослоистые  $gm, mQ_{III}$
- ✓ Глины ленточнослоистые с прослойками мелкого песка и редким гравием  $amQ_{III}$
- ✓ Пески разнозернистые с галечниками, песчано-гравийно-галечные отложения  $mQ_{III}$

Эоплейстоценовые отложения широко развиты в южной части региона. По литологическому составу это преимущественно глинисто-суглинистые образования с прослоями и линзами песчано-пылеватого материала, обильными включениями гравия и гальки; реже отмечаются валуны. Нередки обильные включения растительного детрита, примазки вивианита и гидротроилита. Мощность отложений колеблется от 10 до 50 м.

Отложения нижнеэоплейстоценового звена в пределах глубоководных впадин Баренцево-Карского шельфа распространены в виде практически сплошного покрова, заполняя палеодепрессии; представлены суглинисто-супесчаными и песчаными разностями. Характерны чередования глинисто-суглинистого материала с пылеватопесчаным (с интервалом 0.5-3.0 см). В прикровельной части слоистость, как правило, исчезает. В мелководных районах Печорского и Карского морей в нижних частях разреза развиты пески с тонкими пропластками суглинков и глин с растительными остатками. С середины разрезов появляются прослой мореноподобных осадков, которые преобладают в кровле толщи. В большей части разрезов слоистость нарушена, наблюдаются пликвативные и дизъюнктивные дислокации, затухающие вверх по разрезу. Мощности отложений нижнего плейстоцена 20-30 м.

Отложения среднего звена неоплейстоцена развиты преимущественно в Печорском бассейне и Южно-Баренцевской впадине. В своеобразных (ледово-ледниково-морских) фациях осадки развиты в пределах Центрально-Баренцевского поднятия. Представлены (почти на 100%) мореноподобными суглинками. Отличаются плохосортированным зерновым составом, обладают массивной текстурой, содержат многочисленные включения грубообломочного материала. Осадки среднего неоплейстоцена формируют выдержанные плащеобразные покровы мощностью 20-50 м. В локальных карманообразных понижениях их мощность достигает 100 м.

Многолетнемёрзлые толщи пород, сформировавшиеся до начала позднего плейстоцена, полностью протаяли во время бореальной трансгрессии, прошедшей 125-75 тыс. лет назад, при которой уровень моря поднимался до отметок  $+80 \div +100$  м.

Протаивание доголоценовых отложений различной дьдистости во время последней трансгрессии обусловило формирование широкого разнообразия физико-механических свойств. По всему Печоро-Карскоморскому побережью консистенция плейстоценовых отложений по шельфу меняется при удалении от берега от твёрдомёрзлой и пластичномёрзлой до текучей, текучепластичной, мягкопластичной, полутвёрдой и твёрдой.

**Эоплейстоцен-среднеоплейстоценовые глины** морского, ледниково-морского происхождения ( $m, gmQ_{E-II}$ ) имеют светло-серый и серый цвет, иногда – светло-коричневые, массивные, содержат единичные включения гравия и гальки, рассеянное органическое вещество чёрного цвета, растительные остатки. Гранулометрический состав характеризуется выдержанностью на площади Западно-Арктического шельфа с некоторым преобладанием содержания глинистой фракции, составляющей в среднем 36-48%; содержание пылеватых частиц – до 26-46%, песка – до 10-26%. Существенно отличаются по гранулометрическому составу глины Гусиноземельской площади, где количество песчаных зёрен в глинах увеличивается до 39%, превышая содержание глинистых частиц (28%).

Отмечается существенное различие физико-механических свойств глин Баренцева и Карского морей, которое определяется, по всей видимости, в наибольшей степени условиями криогенеза. Протаивание изменяет облик структуры глин, предопределяет появление узловатых (комковатых) структур, поверхность которых имеет более высокую влажность, и которые имеют меньшее сцепление за счёт перехода после оттаивания связанной воды в свободную, но за счёт этого, в определённых условиях, больше подвержены фильтрационной консолидации и, соответственно, уплотнению и упрочнению.

В Баренцевом море, где глины, по видимому, подверглись меньшему воздействию криогенных процессов, влажность изменяется от 21 до 50% при среднем значении 41% (207 определений), в Карском – от 14 до 27% при среднем значении 20% (24 определения). Соответственно плотность существенно выше в Карском море – она меняется от 1,93 до 2,21 г/см<sup>3</sup> - при среднем значении 2,10 г/см<sup>3</sup> (12 определений), в Баренцевом море максимальная плотность составила 2,09 г/см<sup>3</sup> (на Мурманской площади), среднее значение – 1,79 г/см<sup>3</sup>. Прочность эоплейстоцен-среднеплейстоценовых глин весьма незначительна: сцепление изменяется от 2 до 26 кПа при среднем значении по шельфу 11 кПа (154 определения), угол внутреннего трения – от 1° до 20° при среднем значении 3° (138 определений). Эоплейстоцен-среднеплейстоценовые глины в целом обладают, по отношению к граничащим с ними верхнеплейстоценовым глинам, несколько меньшей влажностью (14-66%, 231 определение) и несущественно большей плотностью (1,34-2,21 при среднем значении 1,81 г/см<sup>3</sup>, 218 определений).

**Эоплейстоцен-среднеоплейстоценовые мореноподобные суглинки**, преимущественно ледниково-морского происхождения ( $gm, mQ_{E-II}$ ), имеют серый и тёмно-серый цвет, иногда с коричневым оттенком, массивные, содержат гнёзда песков, редкую гальку и гравий (до 2%); отмечаются включения органики чёрного цвета в виде линзовидных включений, единичные обломки раковин. По гранулометрическому составу можно выделить две разновидности суглинков. Первая, приуроченная к Печоро-Колвинскому мегавалу (Русская площадь), Северо-Печорской возвышенности (Северо-Мурманская и Мурманская площади) – песчанистые суглинки, в которых песчаная

фракция преобладает, составляет в среднем 41-56% (при этом содержание пылевой фракции изменяется в среднем от 20 до 30%, а глинистые частицы составляют 24-27%). Второй тип, характерный для Центрально-Баренцевского свода (Ферсмановская площадь) и в наибольшей степени – для Центральной впадины (Штокмановская площадь) и Куренцовской структурной террасы, отличается несколько преобладающим содержанием глинистой фракции – до 33-48%, при количестве песчаных зёрен – 26-35%; при этом пылевая фракция – примерно такая же (24-32%).

Эоплейстоцен-среднеплейстоценовые суглинки обладают наибольшей плотностью среди мягких четвертичных грунтов. Значения плотности, составляющие 1,77-2,26 г/см<sup>3</sup> при среднем значении 2,07 г/см<sup>3</sup> (по результатам 292 определений), определяются степенью неоднородности гранулометрического состава суглинков, близкого к «оптимальной смеси». Влажность изменяется от 13 до 45%. Консистенция грунтов – преимущественно пластичная, составляет 0,00-0,80. Относительно стабильная консистенция, отличная от текучей, и значительная плотность суглинков определяют высокие значения прочности. Удельное сцепление может меняться от 16 до 160 кПа (за исключением Северо-Мурманской площади, где минимальное значение может составлять 8 кПа) при среднем значении по всему шельфу - 45 кПа (по результатам 45 определений).

#### Верхнеплейстоценовые инженерно-геологические мегагоризонты

Верхнее звено неоплейстоцена развито практически в пределах всего Баренцево-Карского шельфа за исключением участков донной абразии близ Новой Земли, на валу Адмиралтейства и на структурно-денудационных останцах в пределах Центрально-Баренцевского поднятия. Отложения соответствуют ССК-II, мощности которого варьируют от первых метров на склонах внутришельфовых поднятий до 10-25 м во впадинах и прогибах. На участках, где развиты конуса выноса (gm III) и ледниковые краевые валы у Новой Земли (gIII<sup>2</sup>), мощность достигает 40-50 м. ССК-II, судя по характеру волновой записи, слагают разнородные в возрастном и фациально-генетическом отношении осадки.

Ледниково-морские отложения вскрыты в основании разрезов на большинстве станций пробоотбора, выполненных в глубоководной (свыше 250 м) области Баренцево-морского шельфа. По гранулометрическому составу преобладают глины и суглинки, устойчиво содержащие относительно равномерно распределенную (кексоподобная текстура) примесь грубообломочного материала (от грубопесчаных зерен до мелкого щебня), хотя доля этого материала обычно не велика. Обращает на себя внимание резкое возрастание прочностных характеристик ледниково-морских отложений, отобранных на глубинах моря менее 205 м, в пределах Демидовской банки и на южных подходах к ней.

Морские отложения характеризуются ритмично-слоистой сейсмической записью, представлены, судя по разрезам скважин и донных колонок в юго-западной части региона, тёмно-серыми и коричневыми глинами с пропластками и линзами серых и тёмно-серых мореноподобных суглинков. В Печороморском бассейне и на шельфе Карского моря преобладают тёмно-серые мореноподобные суглинки с пропластками и линзами коричневатых глин. На шельфе, к западу от Новой Земли, для нижней части ССК-II характерна грубая, невыдержанная по латерали слоистость, что связано с высокой фациальной изменчивостью осадков и их аккумуляции в условиях повышенной гидродинамической активности. Мощность колеблется от 5-6 до 25-30 м.

Сложный фациальный состав морских и ледниково-морских отложений отражён в своеобразных типах волновой картины на сейсмограммах с закономерно (крапчатый тип

записи), либо напротив, хаотично ориентированными короткими осями синфазности. По результатам донного опробования представлены песчанистыми и пелитовыми алевритами, суглинками с примесью песка, гравия, дресвы, гальки, щебня (1-4%). Отложения характеризуются высокой изменчивостью гранулометрического состава по латерали. Мощность во впадинах достигает 10-15 м, уменьшаясь к привершинной части поднятий до первых метров. По возрасту комплекс коррелируется с III<sup>2-3</sup> (зырянско-каргинское время).

В составе песчано-пылевой фракции верхнеплейстоценовых отложений преобладает кварц (60-75%) и полевой шпат (20-30%). Встречаются в небольшом количестве хемогенный кальцит и раковинный детрит (2-5%), обломки кремнистых пород и халцедона, единичные зёрна глауконита. Часто встречается мелкий растительный детрит. В состав глинистой фракции входят гидрослюда (в среднем 45%), монтмориллонит (35%), каолинит (12%), хлорит (8%).

**Верхнеплейстоценовые морские глины** - обычно тёмно-серого цвета, с неясной горизонтальной слоистостью, с прослоями супеси и пылеватого песка и редкими включениями мелкого гравия. Гранулометрический состав глин характеризуется преобладанием глинистой фракции, среднее содержание которой по площадям Западно-Арктического шельфа изменяется от 41 до 68%. Содержание пылеватых частиц составляет 23-37%; количество песчаных зёрен изменяется в среднем от 14 до 29%, и только на Лопарской и Куренцовской площадях уменьшается до 4-8%. Только на Гусиноземельской площади преобладает песчаная фракция, а содержание пылевой и глинистой – 32 и 28% соответственно.

Глины позднеплейстоценового возраста, преимущественно морского происхождения, обладают крайне широким диапазоном значений, как физических, так и механических свойств. Во многом это определяется консистенцией, меняющейся от твёрдой (-0,18) до текучей (1,89). Плотность меняется от 1,52 до 2,07 при среднем значении по шельфу 1,79 г/см<sup>3</sup> (по результатам 235 определений). Контролирующая консистенцию грунта влажность меняется весьма широко: от 20% до 110% при среднем значении 49% (по результатам 320 определений). Изменения влажности слабо связаны с морфоструктурой донного рельефа, в большей степени на водосодержание верхнеплейстоценовых глин (и связанную с ним консистенцию) может влиять наличие (или отсутствие) и (или) фильтрационные свойства голоценовой толщи. Так, в пределах только Приновоземельской площади влажность рассматриваемых глин изменяется от 35% до 110%. Коэффициент пористости весьма высок: может достигать 1,70 при среднем значении по шельфу 1,21 (по результатам 213 определений), что сближает верхнеплейстоценовые глины с глинистыми илами голоцена.

Прочность глин также изменяется весьма широко, составляя всего 2-11 кПа (27 определений) при текучей консистенции (на Мурманской возвышенности) и около 10-70 кПа при мягкопластичной консистенции (на Северо-Печорской возвышенности). Угол внутреннего трения при этом изменяется от 1-5° до 20-25°.

Верхнеплейстоценовые глины аллювиально-морского происхождения - несколько более плотные (от 1,72 до 2,12 г/см<sup>3</sup>, по результатам 40 определений), менее влажные (от 14 до 50%, 42 определения).

**Верхнеплейстоценовые мореноподобные суглинки** – тёмно-серого, реже буровато-серого цвета, с нечётко выраженной слоистостью, вкраплениями и прослоями светло-коричневого растительного детрита, с редкой галькой и гравийным материалом (до 1%). Собственно ледниковые отложения слагают конечно-моренные гряды (высотой 25-30 м), развитые на Адмиралтейском валу, западном и восточном подводных склонах

Новоземельского орогена. Хорошо распознаются на сейсмоакустических разрезах, где выражены записью хаотически расположенных коротких отражающих площадок. По данным проботбора, представлены переуплотнёнными песчано-алеврито-глинистыми миктитами с примесью плохо окатанного грубообломочного материала (70-90%).

По данным гранулометрического анализа, на Западноарктическом шельфе встречаются суглинки двух разновидностей. Первая характеризуется преобладанием песчаной фракции (песчанистые суглинки), составляющей в среднем 55-75%, и распространена преимущественно на Мурманской и частично – Северо-Печорской возвышенностях. На остальных изученных площадях Баренцева и Карского морей суглинки носят миктитовый характер.

Верхнеплейстоценовые суглинки мореноподобные (ледниково-морские) также (как и глины) отличаются весьма широким разнообразием физико-механических свойств, значение показателя текучести изменяется от (-0,29) до 3,00 (по результатам 395 определений). Плотность колеблется от 1,41 до 2,15 г/см<sup>3</sup> при среднем значении по шельфу 1,95 г/см<sup>3</sup> (312 определений). Повышенная плотность характерна для Приновоземельской площади – среднее значение 2,01 г/см<sup>3</sup> (179 определений). Малоплотные грунты расположены на Северо-Мурманской площади – 1,49 г/см<sup>3</sup> (5 определений), в Центральной впадине – 1,43 г/см<sup>3</sup> (33 определения). Значительно изменяется влажность: от 15 до 71% при среднем значении по шельфу - 30% (367 определений).

Прочностные свойства верхнеплейстоценовых мореноподобных суглинков, во многом определяемые их консистенцией, меняются весьма широко. Даже в пределах одной Ферсмановской площади (Центрально-Баренцевский свод) удельное сцепление может изменяться от 5 до 40 кПа, при среднем значении 15 кПа (по результатам 77 определений), что сравнимо с изменением прочности суглинков на всём Западноарктическом шельфе (4-40 кПа). Угол внутреннего трения составляет от 1° до 35° при среднем значении 8° (33 определения).

Показательна слабая зависимость плотности и влажности от степени предшествующего промерзания суглинков, что, по всей видимости, связано с более существенной (по сравнению с глинами) ролью песчаных фракций (не имеющих связанной воды в своём окаймлении) в формировании структуры. Эта роль особенно возрастает при формировании прочностных свойств во время плейстоценового промерзания, когда песчаные фракции формируют структурообразующий «скелет» грунтов, с существенным увеличением угла внутреннего трения.

**Верхнеплейстоценовые супеси** – серого и светло-серого цвета с горизонтальной и косой слоистостью, образованной скоплениями растительного детрита светло-коричневого цвета и прослойками светло-серого пылеватого песка. Встречаются прослойки глин и суглинков, редкие включения гальки и гравийных обломков (доли процента). Гранулометрический состав супесей характеризуется существенным преобладанием песчаной фракции (49-91%), что позволяет отнести большинство из них к категории песчанистых.

Супеси позднеплейстоценового возраста, несмотря на существенные отличия от одновозрастных глин и суглинков в дисперсном составе и пластичности, близки к ним по основным физико-механическим свойствам. Влажность ненамного меньше, составляет 18-40% при среднем генеральном значении 24% (по результатам 120 определений). Плотность также колеблется в широком диапазоне от 1,66 до 2,19 г/см<sup>3</sup>. удельное сцепление изменяется от 1 до 70 кПа, угол внутреннего трения – от 4° до 30°.

**Аллювиально-морские отложения** выделяются в приустьевых частях проливов и губ, на островах и побережье, а также в более широкой мелководной полосе Печорского моря. Представлены песчано-глинистыми и песчано-галечными отложениями мощностью 4-5 м.

**Пески разнозернистые (с галечниками) и песчано-гравийно-галечные отложения** позднплейстоценового возраста относятся к относительно прочным рыхлым грунтам флювиогляциального происхождения. Пески разнозернистые имеют плотность от 1,93 до 2,10 г/см<sup>3</sup> при среднем значении 1,98 г/см<sup>3</sup> (по результатам 30 определений). Их угол внутреннего трения составил 36°. Галечники обладают плотностью 2,04-2,16 г/см<sup>3</sup>, угол внутреннего трения 38-40°. Песчано-гравийные отложения имеют плотность 2,03-2,17 г/см<sup>3</sup>, угол внутреннего трения 26-29°.

*Физико-механические свойства мёрзлых отложений*, имеющих довольно широкое распространение среди плейстоценовых, а также современных (в прибрежной зоне Печорского моря) и доплейстоценовых (в прибрежных зонах размыва) грунтов Западноарктического шельфа России, изучены крайне мало. По данным Л.А.Жигарева [1997], морские и прибрежно-морские современные отложения, представленные «алевроитом с большим количеством галечного материала», при температуре -3,6÷-4,0°С имеют удельное сцепление 0,41-0,58 МПа, угол внутреннего трения – 25-38°. При оттаивании морских донных осадков угол внутреннего трения меняется мало, а сцепление уменьшается примерно в 100 раз, до 4-6 кПа.

### Современные донные грунты

Характер изменчивости физико-механических свойств голоценовых осадков Западноарктического шельфа в условиях полярного литогенеза определяется, в основном современными батиметрической, циркумконтинентальной (в данном случае – удалением от суши) и в меньшей степени широтной зональностями осадконакопления, с некоторым влиянием ледового разноса (до 8-21% от общего объёма терригенного материала, по В.Н.Каменевой и Д.С.Яшину). Подошва отложений картируется по резкой смене вещественного состава и физических свойств.

Литологический состав морских отложений  $m(Q_{III}^4 - Q_{IV})$  в пределах Баренцево-Карского шельфа контролируется глубиной и интенсивностью придонных течений, геоморфологией дна и литологией подстилающих пород. На Новоземельском, Канинском и Северотиманском мелководье голоценовые морские осадки заметно огрубляются, в их основании появляются гравийно-галечные слои мощностью до 0,3 м. Крупнообломочные и песчаные грунты распространены вдоль побережий до изобат: на Баренцевоморском шельфе – 100-200 м, на Карскоморском шельфе – 20-50 м, в губах и заливах – 10-20 м; для районов Кольского шельфа характерны ракушечные илы незначительной мощности.

По мере увеличения глубины моря, примерно с изобаты – 250 м, фиксируется область современной аккумуляции глинистых (суглинистых) илов. Мощность этих илов, по данным профилографа, составляет 2-4 м, максимально до 6 м. Вскрытая грунтовыми трубками в ходе изысканий по трассе волоконно-оптической связи мощность составила 1,2 м. К северу от Кольско-Канинского мелководья осадки становятся всё более глинистыми и достигают мощности в несколько метров. По мере приближения к мелководью, прилегающему к Новой Земле, с уменьшением глубин моря начинают изменяться поверхностные осадки. Область замедленного накопления современных глинистых илов сменяется на область практически нулевой седиментации.

На Печорском мелководье голоцен представлен песчаными и песчано-супесчаными отложениями мощностью 3-5 м. В районе острова Колгуев мощность достигает 10 и более метров, а разрез приобретает чёткое двухслойное строение: нижняя часть представлена регрессивными мелкозернистыми (до пылеватыми) песками, верхняя – тёмно-серыми суглинистыми илами. Мощность песков 1-1- м, илов – от 0.2-0.5 до 1-2 м и более. В центральной части Печорского моря, прилегающей к Варандейской и Приразломной площадям, выявлено двухслойное строение современной грунтовой толщи [Левитан и др., 1999]. Сверху, до глубины свыше 3 м, залегают разнотернистые пески, утончающиеся вверх по разрезу. Далее после резкой (отчётливой) границы развит «переходный слой», представленный хаотичным чередованием бесформенных линз песка и чёрных глинистых илов. В нижней части голоценового разреза залегают глинистые илы чёрного и серого (сверху вниз) цветов, с развитием грубообломочного материала (продукты ледового разноса). Чёрные малоплотные и малопрочные илы, по всей видимости, можно отнести к суглинистым и даже супесчаным, тогда как серые – существенно более глинистые.

На юге-западе Карского моря голоценовые осадки представлены преимущественно глинистыми и суглинистыми илами, с линзами и прослойками песка, редкими включениями грубообломочного материала, в верхней части разрезов преобладают глинистые илы с корочками конкрециями гидроксидов железа. На мелководье морские отложения представлены песками; мощность осадков составляет 0.5-2 м.

В северо-западной части Карского моря широкое развитие имеют глинистые илы, мощность которых, по данным сейсмопрофилирования, не превышает 1-3 м. По данным пробоотбора, они представлены здесь нефелоидными суглинистыми и глинистыми илами, окрашенными в оливково-серые тона. Повсеместно в разрезе отмечаются стяжения гидротроилита, развивающегося в основном по остаткам ходов червей-илоедов, часто встречаются тонкостенные раковины и их детрит. На поверхности осадков встречаются единичные гравийные и щебнистые обломки, вероятно как результат ледового разноса; приповерхностные осадки биотурбированы. Опробованная мощность илов здесь колеблется от 95 до 192 см.

Современные морские отложения ( $Q_{III}^4$ -  $Q_{IV}$ ) представлены, как правило, слабыми текучими грунтами с дальними коагуляционными связями (илами глинистыми и суглинистыми) и рыхлыми отложениями с преимущественно механическими связями (песками, супесями, крупнообломочными грунтами). На Западно-Арктическом шельфе России в рамках комплекса современных слабых и рыхлых покровных грунтов выделяются 6 инженерно-геологических мегагоризонтов:

- Илы глинистые вязкотекучие и текучепластичные, локально переслаивающиеся с илами суглинистыми и супесями  $m(Q_{III}^4 - Q_{IV})$
- Илы суглинистые вязкотекучие и текучепластичные, часто с прослоями супесей  $m(Q_{III}^4 - Q_{IV})$
- Пески мелкие и пылеватые, реже средней крупности, переслаивающиеся с супесями, с включениями редкого гравия и гальки  $m, am, gm Q_{IV}$
- Илы глинистые и суглинистые вязкотекучие, часто с включениями песчаного материала  $am Q_{IV}$
- Песчано-гравийные и песчано-галечные отложения с включением валунов  $ed Q_{IV}$
- Ракушечно-песчаные и ракушечно-илистые отложения  $mb Q_{IV}$

**Илы глинистые** морского (ледово-морского) происхождения, обычно – зеленовато-серого или серого цвета. Могут содержать рассеянный раковинный детрит и грубообломочный материал, чаще всего гравийный, реже – мелко-галечный, представленный неокатанными и слабоокатанными обломками серых и чёрных глин,

серых песчаников, зелёных кварцево-глауконитовых алевропесчаников. Слоистость может быть нечётко выражена тёмными проявлениями органического вещества с гидротроиллитом. На большей части шельфа распространены илы с преобладанием глинистой фракции, на Северо-Мурманской и Лопарской площадях наблюдается существенное (примерно в 2 раза) увеличение содержания крупнопылеватой фракции, что позволяет отнести такие илы к пылеватым. Для илов Гусиноземельской площади характерно существенное (до 47%) увеличение содержания песчаной фракции.

Имея широкое распространение на Западно-Арктическом шельфе, глинистые илы характеризуются значительным разнообразием физико-механических свойств. Так, влажность илов может изменяться от 29 до 211%, плотность – от 1,21 до 1,99 г/см<sup>3</sup>, удельное сцепление – от 1 до 11 кПа. Анализируя изменчивость физико-механических свойств по площадям, можно отметить несколько повышенную среднюю плотность (относительно средней по шельфу, равной 1,56 г/см<sup>3</sup>, по результатам 1401 определения) глинистых илов на некоторых положительных структурах 1,65 г/см<sup>3</sup> - на Западно-Кольской седловине и Куренцовской структурной террасе, 1,59 г/см<sup>3</sup> - на Печоро-Колвинском мегавале, 1,69 г/см<sup>3</sup> - на Приамальской равнине, 1,75 г/см<sup>3</sup> - на Русановской структурной террасе и Ленинградско-Обручевской возвышенности. Уверенно фиксируются меньшие значения плотности у илов, заполняющих отрицательные морфоструктуры рельефа. Так, например, в Южно-Новоземельском жёлобе среднее значение плотности составляет 1,41 г/см<sup>3</sup>. Отмечаются абсолютно одинаковые (с точностью до 0,01 г/см<sup>3</sup>) средние значения плотности глинистых илов Баренцева и Карского бассейнов – 1,56 г/см<sup>3</sup>.

Более низкие значения влажности илов (относительно средней по шельфу, равной 75% по результатам 1542 определений) характерны для Мурманской возвышенности (среднее значение 67%), Западно-Кольской седловины (53%), Южно-Карской синеклизы (46%). Повышенная влажность присуща илам Южно-Новоземельского жёлоба (103%), Центральной впадины (78%), Мангазейского плато (95%). Среднее значение удельного сцепления по всему шельфу составило 5 кПа (по результатам 241 определения), угла внутреннего трения - 3° (90 определений). Таким образом, практически все глинистые илы Западно-Арктического шельфа можно отнести к вязкотекучим-текучепластичным грунтам (по прочности). Исключение может составить лишь обычно не изучаемый поверхностный полужидкий слой, имеющий мощность, не превышающую первые сантиметры. Его следует отнести к жидкотекучим грунтам (сопротивление вращательному срезу – менее 1 кПа).

На закономерностях изменчивости состава и физико-механических свойств илов (в наибольшей степени – прочностных свойств) наиболее определённо сказывается батиметрическая зональность осадконакопления, выражающаяся в снижении прочности от 4,5 до 1 кПа на глубинах моря 100-300 м с градиентом 1,7 кПа/100 м [Козлов, Неизвестнов, 2003]. Особенности *батиметрической изменчивости* физико-механических свойств илов, вероятно, связаны с плотностью и размерами слагающих их агрегатов и микроагрегатов (по аналогии с илами абиссали [Козлов, 1989]).

С увеличением глубины поддонного залегания начинает проявляться, в большей или меньшей степени, *вертикальная изменчивость* физико-механических свойств илов: влажность, как правило, уменьшается, а плотность – увеличивается (часто одновременно с увеличением прочности). Однако известны случаи, когда вертикальная зональность очень слабо выражена или практически отсутствует. Так, например, на Мангазейской площади Карского моря, по результатам испытаний донных осадков через 5 см по грунтовым колонкам длиной 20-95 см (336 определений), зависимость плотности и прочности

грунтов от их поддонной глубины чётко не прослеживается [Bryant, Slowey, 1994]. Значения плотности 1,37-1,79 г/см<sup>3</sup> характерны как для поддонных глубин 0-0,2 м, так и для интервала 0,4-1,0 м. Грунты с прочностью на сдвиг 1,6-10,0 кПа залегают как на поверхности, так и в интервале 0,5-1,5 м. Как исключение, в подошве слоя обнаруживаются грунты с прочностью свыше 20 кПа, которые, возможно, имеют доголоценовый возраст.

На периферии континентальной окраины, недалеко от острова Медвежий, наислабейшие осадки с прочностью на сдвиг менее 2 кПа залегают на глубине 0,5 м, ниже их прочность закономерно увеличивается с градиентом примерно 3,5 кПа/м [Кондратенко, Козлов, 1996]

**Илы суглинистые** обычно имеют коричневатую или зеленовато-серый цвет, редко – тёмно-серый за счёт включения органического вещества. Как правило, в суглинистых илах песчаная фракция существенно преобладает над пылеватой и глинистой, составляя 46-61%, кроме площадей, принадлежащих или близких к Южно-Баренцевской синеклизе - Северо-Кильдинской, Арктической, Штокмановской.

Суглинистые илы значительно отличаются от илов глинистых по своим физическим свойствам: им присуща существенно (более чем в 1,5 раза) меньшая влажность, от 29 до 99% при среднем значении по шельфу - 46% (по результатам 285 определений); значительно большая плотность, от 1,44 до 2,08 г/см<sup>3</sup>, при среднем значении 1,76 г/см<sup>3</sup> (по результатам 178 определений). Межзональные различия физических свойств незначительны. Прочность суглинистых илов практически не отличается от прочности глинистых илов, составляя 3-12 кПа при среднем значении 5 кПа (по результатам 49 определений).

Для предварительной оценки поведения инженерного сооружения на океанском дне, сложенном слабыми осадками, в интервале нормальных нагрузок, можно использовать начальную критическую нагрузку  $P_1$  (по Н.П.Пузыревскому), а при быстром нагружении – даже  $0,75 P_1$  [Куринный, Козлов, 1996, 2003]. Несущую способность слабых грунтов Баренцево-Карского шельфа, представленных глинистыми и суглинистыми илами, таким образом можно предварительно оценить в диапазоне 4-37 кПа.

Отдельно в южной части Мангазейской площади изучены глинистые и суглинистые илы алювиально-морского происхождения, обладающие несколько повышенной влажностью (50-192%, при среднем значении 92%, по результатам 84 определений), пониженной плотностью (1,30-1,71 г/см<sup>3</sup>, по результатам 84 определений). Значения прочности данных илов (2-10 кПа) практически не отличаются от значений у илов морского происхождения.

**Пески пылеватые и мелкие** широко распространены на Западноарктическом шельфе, представлены в основном однородными, хорошо сортированными отложениями светло- и тёмно-серого цвета, включающими растительный детрит, линзовидные прослойки торфа, редко – гальку и крупный гравий. Гранулометрический состав мелких песков (содержание частиц >0,1 мм – больше 75%) характеризуется песчаной фракцией, составляющей в среднем по Западноарктическому шельфу 82-99%. При этом на Варандейской и Песчаноозёрской площадях количество песчаных зёрен достигает 98-99%.

Пески имеют широкий диапазон значений плотности: от 1,67 до 2,26 г/см<sup>3</sup>, при среднем генеральном значении 1,96 г/см<sup>3</sup> (по результатам 195 определений). Несколько заниженная величина среднего генерального значения плотности объясняется присутствием на некоторых морфоструктурах песков с повышенным содержанием раковинных обломков. Например, минимальные значения плотности песков могут достигать значений: на Мурманской возвышенности – 1,80 г/см<sup>3</sup>, на Северо-Печорской

возвышенности – 1,72 г/см<sup>3</sup>, в Восточно-Колгуевском прогибе (Печорская синеклиза) – 1,67 г/см<sup>3</sup>, влажность песков изменяется от 19 до 48% (максимальные значения – на Северо-Печорской возвышенности), при среднем генеральном значении 25% (по результатам 195 определений). Прочность песков определяется значениями угла внутреннего трения от 23° до 36° при среднем генеральном значении 29° (по результатам 16 определений); удельным сцеплением, иногда достигающим 9-11 кПа (на Печорской синеклизе), но в среднем составляющим 4 кПа.

Ракушняковые пески, содержащие иногда до 90-95% ракушечного материала, имеют меньшую плотность, 1,42-2,01 г/см<sup>3</sup>, при среднем генеральном значении 1,84 г/см<sup>3</sup> (таблица 2.24), несколько повышенную пористость (в среднем 0,80, по результатам 31 определения). Прочность ракушечных песков почти не отличается: угол внутреннего трения составляет 10-42° при среднем значении 28° (по результатам 31 определения).

**Супеси** обычно имеют серый, тёмно-серый, реже – зеленоватый цвет; встречаются редкие включения гравия и гальки. Содержание в супесях песчаной фракции изменяется от 69 до 82%, с некоторым преобладанием мелкозернистых частиц над тонкозернистыми. Пылеватая фракция составляет 9-23%, количество глинистой составляющей меняется от 3 до 11%.

Супеси, содержащие незначительное количество глинистых частиц, обладают низкой пластичностью (число пластичности 2-7% при среднем значении 6%, по результатам 319 определений). Недостаточно высокий коэффициент пористости 0,61-0,90 не позволяет отнести данные грунты к супесчаным илам. Плотность влажного грунта изменяется в весьма широком диапазоне, от 1,47 до 2,09 г/см<sup>3</sup>, в зависимости от содержания глинистых частиц и крупности песчаных зёрен. Межзональные различия физических свойств супесей незначительны. Влажность супесей близка к влажности песков, составляя 19-49% при среднем значении 27% (по результатам 169 определений). Прочность супесей характеризуется относительно низкими (чем у песков) значениями угла внутреннего трения, от 7° до 30° при среднем значении сцепления 7 кПа. По всей видимости, при детальном исследовании данные грунты подлежат разделению на 2-3 инженерно-геологических горизонта, в зависимости от степени близости к илам или рыхлым отложениям.

**Крупнообломочные грунты** элювиально-делювиального происхождения обладают плотностью 2,13-2,28 г/см<sup>3</sup> (по результатам 20 определений), коэффициентом пористости 0,27-0,64 (20 определений), коэффициентом пористости 0,27-0,64 (20 определений), углом внутреннего трения 22-32° (5 определений), удельным сцеплением (параметром линейности) 3-8 кПа (5 определений).

*Современные ледниково-морские* отложения распространены на мелководье Северного острова Новой земли. Они представлены продуктами перемыва ледниковых отложений – песками мелкозернистыми до пылеватыми, переслаивающимися с супесями, с редкими включениями гравия, гальки и дресвы; мощность - 0,5-2,5 м.

*Аллювиально-морские* отложения локализованы в губах южного побережья, а также в предустьевых частях крупных речных долин и заливов. Представлены осадками преимущественно алеврито-глинистого состава, насыщенными органикой, мощность достигает 5-6 м.

Состав и физические свойства современных осадков и отложений Западноарктического шельфа (включающих глинистые и суглинистые илы, супеси, мелкие и пылеватые пески) были дополнительно подвергнуты **факторному анализу (метод главных компонент)**. Автором совместно с Н.Л.Колчиной и Н.Б.Ильинской исследовались показатели грунтов (около 18000 определений) с площадей: Североморской, Северо-Кильдинской, Лопарской,

Арктической, Штокмановской, Гусиноземельской, Надеждинской, Приновоземельской, Куренцовской, Андреевской, Песчаноозёрской, Русской и Варандейской. Главными целями факторного анализа являются: (1) сокращение числа переменных (редукция данных) и (2) определение структуры взаимосвязей между переменными, т.е. «классификация переменных». *Критерий каменистой осыпи* является графическим методом, впервые предложенным Кэттелем в 1966 году. Находится такое место на графике (рис. 2), где убывание собственных значений слева направо максимально замедляется. В соответствии с этим критерием можно оставить на нашем графике 2 главных фактора (третий фактор можно исключить из рассмотрения ввиду его маловажности).

Затем был проведён анализ главных компонент и выполнено решение с двумя выделенными факторами. Рассмотрим корреляции между переменными и двумя факторами (или "новыми" переменными), как они были выделены по умолчанию (факторные нагрузки). Как видно из табл. 2, первый фактор более коррелирует с переменными, чем второй.

Для I фактора (64,9% от общей дисперсии) устанавливаются значимые связи (когда модуль факторной нагрузки превышает 0,7) между многими из анализируемых признаков: содержанием песчаной фракции ( $>0,1$  мм), содержанием пылеватых, глинистых частиц, влажностью, плотностью влажного и сухого грунта, коэффициентом пористости. Почти все указанные переменные имеют высокую степень корреляции (факторные нагрузки весьма близки к 1). В то же время, содержание тонкозернистой песчаной фракции (0,05-0,1 мм) не имеет значительных нагрузок в I факторе.

Также характерно отсутствие значимой связи каждого из названных признаков с глубиной (моря) залегания осадков. По всей видимости, изменчивость, связанная с глубиной моря, присуща в большей степени механическим свойствам, которые не подвергались факторному анализу ввиду малого количества частных определений в выборках. Таким образом, можно говорить об едином «физическом каркасе» грунтов Западно-Арктического шельфа, строго изменяющемся только в зависимости от гранулометрического состава. Прочностные же свойства имеют связь с глубиной моря, по всей видимости, из-за различий в характере межагрегатных структурных связей. Фактор I можно интерпретировать как показатель, отражающий первичные седиментационные особенности грунтов.

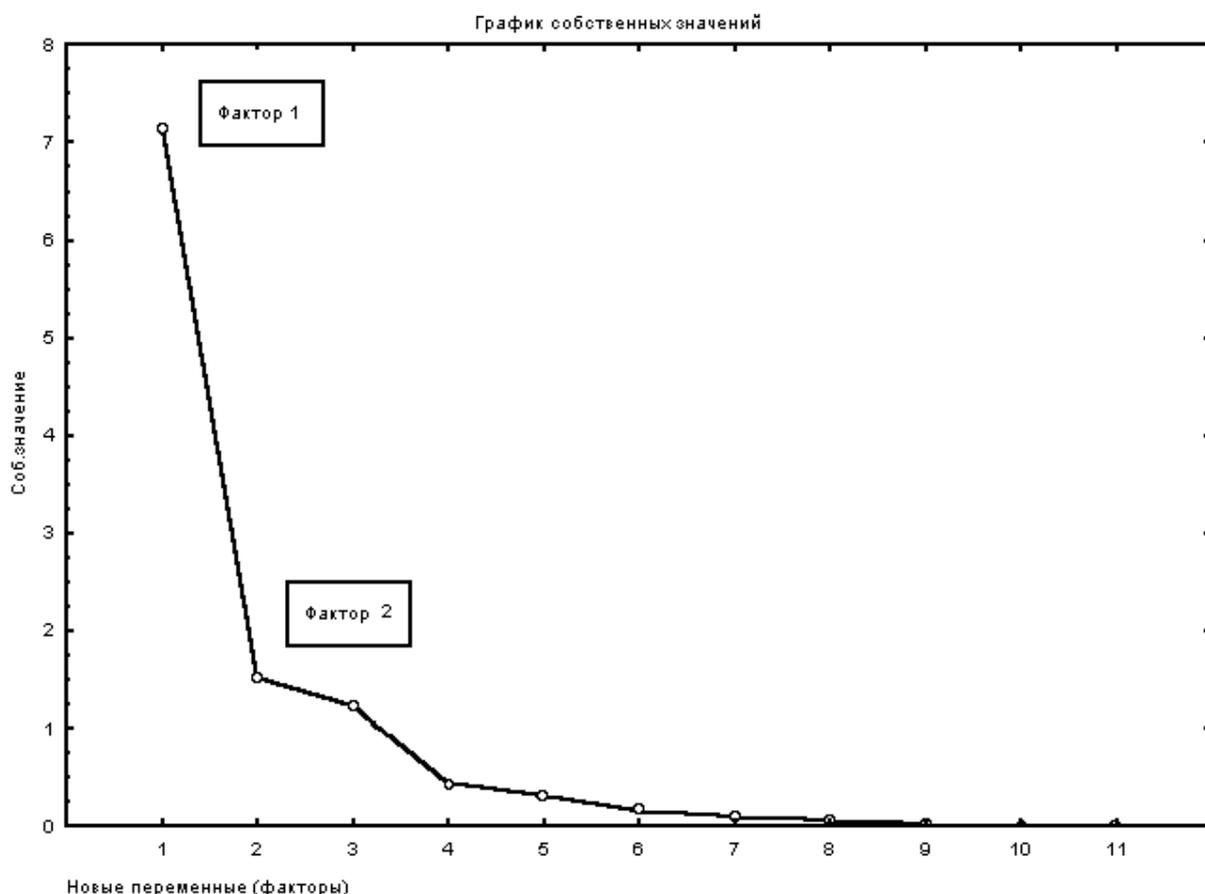


Рис. 2. Оценка «собственных значений» глубины моря, гранулометрического состава и физических свойств грунтов Западно-Арктического шельфа по критерию «каменистой осыпи».

Таблица 2

Основные факторные нагрузки анализируемых признаков

Показатели	Факторные нагрузки	
	Фактор 1	Фактор 2
Глубина моря	-0,282781	-0,816193
Содержание песка (>0,1 мм)	0,878555	0,090898
Содержание песка (0,05-0,1 мм)	0,169861	0,617764
Содержание пыли (0,002-0,05 мм)	-0,895905	-0,069551
Содержание глины (<0,002 мм)	-0,745914	-0,515208
Название грунта	0,928808	0,192193
Влажность	-0,948336	-0,108053
Плотность	0,944750	0,156183
Плотность сухого грунта	0,975902	0,092825
Плотность частиц грунта	0,110745	-0,704614
Коэффициент пористости	-0,926783	-0,182610
Общая дисперсия	6,717865	1,937793
Доля общей дисперсии	0,610715	0,176163

Для II фактора (13,8% от общей дисперсии) характерно отсутствие насколько либо значимой связи между всеми признаками. Явно прослеживается лишь связь (увеличение) плотности частиц грунта с глубиной моря, которая обнаруживается лишь после исключения влияния I фактора.

Дополнительно необходимо учитывать особый, сложный характер изменчивости физико-механических свойств донных грунтов в прибрежной зоне. Особенным своеобразием характеризуются приливные (ваттовые) берега – зона развития накопленных в субаэрально-субаквальных, с дополнительным воздействием припайных торосающихся льдов, условиях сложно построенных слоёв глинистых отложений [Зайончек и др., 1999]. Так, например, в зоне осушки крыльчатым зондом было обнаружено уменьшение прочности (сопротивления сдвигу) с глубиной. Заметное падение прочности отмечено в интервале 0,9-1,2 м - от 110-130 до 7-50 кПа, ниже идёт её постепенное увеличение до 100 кПа [Дроздова и др., 2003]. Особый характер изменчивости физико-механических свойств донных грунтов в прибрежной зоне объясняется циклическим уплотнением (упрочнением) верхних слоёв за счёт высушивания.

### Список литературы

1. *Баренцевская шельфовая плита* / Труды ПГО «Севморгеология» / Под ред. И.С.Граumberга. т.146. Л., Недра, 1988. 263 с.
2. *Дроздова Л.М., Зайончек В.Г., Усов В.А.* Инженерно-геологическая характеристика приливного берега // Труды НИИГА-ВНИИОкеангеология, т.198. Морские инженерно-геологические исследования. СПб, ВНИИОкеангеология, 2003. С. 155-161.
3. *Жигарев Л.А.* Океаническая криолитозона. М., изд-во МГУ, 1997, 320 с.
4. *Зайончек В.Г., Ошарина Ю.В., Усов В.А.* Ватт как инженерно-геологическая система // Вестник СПбГУ, серия 7, 1999. Вып. 1. С. 77-78.
5. *Козлов С.А.* Изучение структурных особенностей глубоководных океанских отложений // Методы изучения физико-механических свойств донных отложений Мирового океана. Ленинград, ПГО «Севморгеология», 1989. С. 19-28.
6. *Козлов С.А., Неизвестнов Я.В.* Пространственная изменчивость физико-механических свойств донных отложений нефтегазоносной области Баренцево-Карского шельфа // Труды НИИГА-ВНИИОкеангеология, т.198. Морские инженерно-геологические исследования. СПб, ВНИИОкеангеология, 2003. С. 79-85.
7. *Кондратенко А.В., Козлов С.А.* Физико-механические свойства верхнеплейстоцен-голоценовых отложений материкового склона вдоль западной окраины Баренцева моря // Инженерно-геологические условия разработки полезных ископаемых морского дна. СПб, ВНИИОкеангеология, 1996. С. 47-54.
8. *Куринный Н.А., Козлов С.А.* Несущая способность морских грунтов: методические аспекты // Труды НИИГА-ВНИИОкеангеология, т.198. Морские инженерно-геологические исследования. СПб, ВНИИОкеангеология, 2003. С. 86-89.

9. *Куринный Н.А., Козлов С.А.* Экспериментальные данные по изучению несущей способности и прочностных свойств верхней части разреза глубоководных донных осадков зоны Клариян-Клиппертон и возвышенности Сьерра-Леоне / Инженерно-геологические условия разработки полезных ископаемых морского дна. СПб, ВНИИОкеангеология, 1996. С. 47-54.
10. *Левитан М.А., Кондратенко А.В., Куцов В.М., Романкевич Е.А.* Позднечетвертичная история седиментации в Печорском море / Геология морей и океанов: Тезисы докладов XIII Международной школы морской геологии. Т. II. М., 1999. С. 45-46.
11. *Методические рекомендации по проведению инженерно-геологических исследований при геологической съёмке шельфа* / Неизвестнов Я.В., Козлов С.А., Кондратенко А.В., Куринный Н.А., Патрунов Д.К., Решетова О.В. СПб, ВНИИОкеангеология, 1998, 34 с.
12. *Неизвестнов Я.В., Зархидзе В.С., Мусатов Е.Е.* Эволюция мерзлотных условий Баренцево-Карского шельфа в позднем кайнозое. Тезисы докладов юбилейного годовичного собрания научного совета по криологии Земли. Пушино, 1995, с.24-25.
13. *Погребницкий Ю.Е.* Геодинамическая система Северного Ледовитого океана и её структурная эволюция / Советская геология, 1976, №12, с. 3-22.
14. *Словарь по гидрогеологии и инженерной геологии.* М., ВСЕГИНГЕО, 1961, 186с.
15. *Bryant W., Slowey N.* Final report. Geoacoustical, geotechnical and sedimentological survey of the Kara Sea, and the Ob and Jenisey rivers, Russian Arctic. Texas University, 1994. 380 p.