Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1984, т. 100

УДК 624.131.31

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЛИНИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ШЕЛЬФА ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

Д.П.ХРОМЫХ

Интенсивное развитие Ленинградского экономического района потребовало детального изучения инженерно-геологических условий строительства сооружений и разработки месторождений строительных материалов в шельфовой зоне восточной части Финского залива. Проведенные в этой связи работы позволили дать предварительную оценку состава и свойств донных отложений.

Инженерно-геологические изыскания входили в состав комплексной геологической съемки, проводимой ВСЕГЕИ, и состояли из описания отложений, образцы которых были подняты со дна залива ковшом или прямоточной гравитационной трубкой, и последующих исследований непосредственно на судне и в лаборатории ЛГИ. Глубина опробования достигала 3–4 м. Всего было опробовано более 600 станций, на 120 отобраны образцы для инженерно-геологических исследований.

История геологического развития восточной части Финского залива изучена достаточно хорошо [4, 5]. Рассматриваемая территория входит в зону сочленения двух крупных геологических регионов: Балтийского щита и Русской платформы. В этой зоне прослежена глубокая депрессия, которая и создала основные условия для развития бассейна Финского залива.

В конце четвертичного периода в поздне- и послеледниковое время выделяют несколько стадий развития Балтийского бассейна.

Начало сложной истории геологического развития современного Финского залива связано с деградацией лужской стадии последнего (валдайского) оледенения, когда у края ледника начали формироваться отдельные приледниковые озера, соединившиеся впоследствии в приледниковое Балтийское озеро. В это время шло накопление ленточных глин, перекрывающих моренные отложения. Дальнейшее отступление ледника вызвало соединение бассейна с Мировым океаном, что привело к образованию I Ильдиевого моря, после регрессии которого, связанной с очередным похолоданием, бассейн вновь обособился. Возобновившееся отступание ледника и постоянное повышение уровня единого Балтийского ледникового озера способствовало образованию неясно слоистых, а затем монотонных коричневых глин.

Начало послеледникового периода ознаменовалось дальнейшим отступлением ледника и соединением Балтийского бассейна с Мировым океаном, в результате чего возникло II Ильдиевое море, в период существования которого накапливались монотонные серые глины с большим содержанием органических остатков в виде гнезд и стяжений. Гляциоизостатическое поднятие

суши прекратило доступ морских вод в бассейн и на рассматриваемой территории образовалось озеро, получившее название Анцилового, в это время накапливались осадки, аналогичные осадкам II Иольдиевого моря, так как оба бассейна были глубоководны и имели схожие гидродинамические режимы.

Вследствие эвстатического подъема Мирового океана в среднем голоцене морские воды, вновь проникшие на территорию рассматриваемого бассейна, образуют Литориновое море, которое испытало ряд колебаний уровня. В этот период шло накопление зеленовато-серых супесчано-суглинистых илов.

Анализ геологического развития и проведенные исследования позволили геологам ВСЕГЕИ подразделить всю толщу глинистых отложений восточной части Финского залива на следующие стратиграфические комплексы:

1) морской (литориновый и послелиториновый) – $m\,IV^{L+PL}$;
2) озерно-морской (анциловый и иольдиевый) $m+l\,IV^{J+A}$,
3) озерно-ледниково-морской (иольдиевый), надленточный – $lg+m\,III\text{-}IV^{B+J}$,
4) озерно-ледниковый, ленточный $lg\,III^{lz}_{vd}$
5) ледниковый (лужский) – $g\,III^{lz}_{vd}$

Первым от поверхности дна залегает морской (литориновый и послелиториновый) комплекс, представленный супесчано-суглинистыми илами; распространен он достаточно широко но частые колебания уровня бассейна способствовали частичному размыву голоценовых отложений и их локализации в пониженных участках рельефа дна. В течение всего периода накапливаются достаточно однородные зеленовато-серые суглинистые илы с алевропелитовой структурой и массивной текстурой. Частые изменения условий осадконакопления привели к появлению в них различных прослоев и линз. Так, общее снижение уровня моря и усиление стока с суши, с которым в пределы водоема поступало большое количество органических веществ привело к образованию мощных горизонтов сапропелевидных илов характеризующихся более темными тонами окраски, доходящей до черной и фитопелитовой структурой.

Неравномерность распространения органических остатков и изменение литодинамической обстановки, повлекшей за собой изменение гранулометрического состава, вызвало образование пятнистых и полосчатых илов, полосчатость объясняется увеличением в более светлых прослоях грубодисперсной фракции. До конца не выяснен вопрос образования макропор в отложениях, залегающих в основании данного комплекса Макропоры имеют неправильную форму, размеры в поперечнике составляют 2-5 мм, распространены незакономерно. Некоторые исследователи связывают их возникновение с газообразованием при разложении органических остатков. Макропоры придают осадкам обманчивый вид сухости и рыхлости. Мощность всего морского комплекса превышает 2,8 м.

По внешним признакам, текстуре и структуре мы можем подразделить описываемые отложения на четыре разновидности: сапропелевидные, полосчатые, монотонные и макропористые илы, часто фациально замещающие друг друга.

В целом, илы по гранулометрическому составу относят к суглинистым пылеватым разностям, редко переходящим в супесчаные или глинистые илы, для полосчатых илов характерна большая изменчивость гранулометрического состава, тогда как для монотонных и макропористых - его однородность (см. таблицу).

Физические свойства глинистых отложений восточной части Финского залива

Возраст	Стратиграфический комплекс		Содержание фракции (мм), %			Плотность, г/см³			e	Влажность, %			J_P, %	B	$W_{мм}$, %	$\frac{W}{2W_T}$	A_K	ПП, %
			> 0,05	0,002-0,05	< 0,002	$\gamma_м$	γ	γ_c		W	W_T	W_P						
$m\,IV^{L+PL}$	Супесчано-суглинистые илы	сапропелевидный	22	55	23	2,64	1,20	0,33	6,97	280	101	51	50	4,26		1,30	2,17	8,0
		полосчатый	35	46	19	2,67	1,31	0,49	4,45	170	65	30	35	3,17	35	1,29	1,84	6,1
		монотонный	20	58	22	2,68	1,33	0,54	3,91	146	78	36	42	2,97	22	0,94	1,91	6,5
		макропористый	17	66	17	2,65	1,31	0,51	4,16	160	100	47	53	2,07	36	0,78	3,12	10,4
$l+m\,IV^{J+A}$	Глина серая монотонная		9	54	37	2,75	1,65	1,02	1,70	62	37	18	19	2,22	17	0,84	0,51	2,5
$lg+m\,III-IV^{B+J}$	Глина коричневая монотонная		10	47	43	2,74	1,63	0,99	1,78	65	39	22	17	2,50	20	0,87	0,39	2,9
	Глина коричневая неясно слоистая		4	36	60	2,75	1,50	0,78	2,53	92	48	25	23	2,91	26	0,96	0,38	2,8
$lg\,III\,{}^{l\text{ж}}_{vd}$	Глина коричневая ленточная		7	33	60	2,77	1,61	0,98	1,88	68	41	22	19	2,42	20	0,83	0,32	3,1

Примечание. Приведены средние значения следующих показателей: плотности γ; плотности минеральной части $(\gamma_м)$ и скелета γ_c; коэффициента пористости e; влажности естественной (W), на пределе текучести (W_T) и раскатывания (W_P), числа пластичности J_P; показателя консистенции B, максимальной молекулярной влагоемкости $W_{мм}$, показателя коллоидной активности A_K и потери массы при прокаливании ПП.

Минеральный состав тонкодисперсной части илов довольно однообразен и представлен гидрослюдой, слюдой, в меньшем количестве присутствует тонкодисперсный кварц и оксид железа (II), в отложениях отмечено большое количество обломков диатомовых водорослей. Грубодисперсная фракция преимущественно состоит из полевого шпата и кварца [2].

Естественная влажность илов изменяется в довольно широких пределах: от 100 до 380 %, что связано с неоднородностью состава и наличием примесей. Так сапропелевидные илы, содержащие большое количество органических остатков (10,6 %), имеют среднюю естественную влажность 260 %, а монотонные илы 150 %, но в тех же монотонных илах повышение содержания глинистой фракции до 30 % и потерь при прокаливании до 8 % вызывает повышение влажности до 260 %. Среднее значение влажности для полосчатых и макропористых илов колеблется около 160 %. Естественная влажность всех разновидностей илов значительно больше максимальной молекулярной влагоемкости, что говорит о наличии большого количества свободной воды, а следовательно, о возможности дальнейшего гравитационного уплотнения осадка.

Плотность минеральной части илов изменяется в незначительных пределах (2,64-2,68 г/см^3), несколько понижаясь до 2,63 г/см^3 у сапропелевидных илов и повышаясь до 2,74 г/см^3 у монотонных. Низкая уплотненность и высокая влажность предопределяют низкую плотность, меняющуюся от 1,16 до 1,54 г/см^3, в среднем для сапропелевидных илов 1,20 г/см^3 и для всех остальных разновидностей 1,32 г/см^3, очень низка и плотность скелета илов, находящаяся в пределах 0,33-0,54 г/см^3.

Естественная влажность всех разновидностей илов указывает на текучую консистенцию отложений. В естественном же залегании в текучем состоянии находятся только верхние (толщиной около 10 см) осадки; в нижележащих отложениях супесчано-суглинистые илы находятся в скрытотекучем состоянии. Число пластичности морских отложений значительно больше классификационных показателей для суглинков, что объясняется, видимо, наличием большого количества органических остатков. Илы очень активны, показатель коллоидной активности часто превышает 2,0 и даже 3,0.

Анализируя свойства морских отложений, можно сказать, что они обладают чрезвычайно высокой влажностью, пористостью, низкой плотностью, находятся в срытотекучем состоянии и, следовательно, можно ожидать, что супесчано-суглинистые илы имеют низкую прочность и высокую сжимаемость.

Илы подстилаются глинами озерно-морского ($m+\ell IV^{7+8}$), надленточного ($\ell g+m III-IV^{8+7}$) и ленточного ($\ell g III_{vd}^{\ell_2}$) комплексов.

Озерно-морские глины имеют ограниченное распространение, видимо основная часть их была размыта в среднем и позднем голоцене во время колебания уровня бассейна, мощность озерно-морских отложений превышает 3,0 м. Надленточный комплекс распространен достаточно широко по всей площади восточной части Финского залива, частично он перекрыт вышележащими отложениями, а частично имеет выходы на поверхность дна, его мощность более 6,7 м. Вниз по разрезу он постепенно переходит в ленточные глины, повсеместно распространенные, их мощность превышает 4,2 м.

По внешним признакам перечисленные комплексы хорошо отличаются друг от друга. Озерно-морские глины серого, зеленовато-серого цвета, иногда с буроватым оттенком, монотонные с гнездами и стяжениями черного органического вещества, иногда скапливаются в виде отдельных сильно обогащенных прослоев. Глины обладают пелитовой и алевропелитовой структурой и массивной текстурой, местами вниз по разрезу появляются тонкие прослои тонкозернистого глинистого песка. Вниз по разрезу, а иногда и фациально, озерно-морские глины переходят в надленточный комплекс, представленный коричневыми, коричневато-серыми, буровато-серыми монотонными глинами, с пелитовой и алевропелитовой структурой и массивной текстурой, постепенно переходящие в неясно слоистые коричневато-серые, буровато-серые глины с прослоями тонкозернистого глинистого песка, придающего им характерный вид нечетко выраженной слоистости. Неясно слоистые глины имеют пелитовую и псаммопелитовую структуру, неясно слоистую текстуру. Ленточные глины отличаются от вышеописанных глин четко выраженной тонко- и толстослоистой текстурой, обусловленной чередованием глинистых слоев с супесчаными и суглинистыми. Глинистые слои обычно имеют коричневатый, шоколадно-коричневатый цвет с мощностью слойков от 2 мм до 5 см, а мощность супесчаных и суглинистых слоев серого и голубовато-серого цвета меняется от 1-2 мм до 6 см. Структура глинистых прослоев пелитовая, алевропелитовая, суглинистых - алевритовая, алевропелитовая и алевропсаммитовая [3].

По гранулометрическому составу описываемая глинистая толща неоднородна. Озерно-морские отложения можно классифицировать как пылеватые глины, которые местами переходят в пылеватые тяжелые суглинки. Гранулометрический состав отложений надленточного комплекса более неоднороден, верхняя его часть представлена пылеватыми глинами, местами переходящими в суглинки или тяжелые пылеватые разности глин. Нижняя часть комплекса представлена неясно слоистыми тяжелыми пылеватыми глинами. Ленточный комплекс отнесен к глинам по валовому гранулометрическому составу, хотя в него входят отдельные слои глин, суглинков и супесей. Если сравнивать ленточные глины, исследованные в береговых обнажениях и на дне восточной части Финского залива, то четко выявляется закономерность убывания содержания глинистой фракции на восток.

Минеральный состав тонкодисперсной части всех глинистых комплексов примерно одинаков и состоит из гидрослюды, слюды и кварца, пылеватая фракция преимущественно из кварца, а грубодисперсная часть из кварца, полевого шпата, темноцветных минералов, реже слюды и карбонатов.

Естественная влажность описываемых глинистых отложений резко отличается от влажности супесчано-суглинистых илов и не поднимается выше 100-115 %, в среднем 62-68 %, исключение составляют неясно слоистые глины, входящие в надленточный комплекс, где среднее значение влажности достигает 92 %. Максимальная молекулярная влагоемкость $W_{мм}$ = 20 %, т.е. значительно ниже естественной влажности глин, что свидетельствует о наличии свободной, иммобилизованной воды в отложениях.

Плотность минеральной части изменяется в пределах 2,74-2,77 г/см^3, что свидетельствует об однородности минерального состава глин. Плотность

имеет более широкий разброс, от I,50 г/см^3 в неясно слоистых глинах до I,65 г/см^3 в озерно-морских отложениях в результате различных условий осадконакопления и залегания глинистых отложений.

Консистенция пород также различна: от текучей, текучепластичной в верхней части разреза до мягкопластичной в основании; показатель консистенции чаще больше 2,0. Число пластичности соответствует глинам (I7-23 %) и может служить для них классификационным показателем. Глины практически неактивны.

В основании исследованного разреза залегает ледниковый комплекс ($g\,III_{vd}^{lz}$), представленный глинистыми песками, супесями, суглинками, песчаными глинами коричневато-серого цвета с включением валунов, гальки, гравия, который, несмотря на широкое распространение, на поверхность дна выходит спорадически, в основном на возвышенных участках. На остальных площадях отложения ледникового комплекса перекрыты мощной толщей более молодых морских и озерно-ледниковых образований. Свойства этих отложений изучены достаточно хорошо, их анализ говорит о высокой плотности, низких пористости и влажности, следовательно, высокой прочности и незначительной деформируемости отложений. Детальное изучение этих образований проводилось в связи с проектированием комплекса сооружений для защиты Ленинграда от наводнений [I].

Таким образом, всю толщу глинистых отложений дна восточной части Финского залива можно разделить на две части. Верхняя представлена морскими супесчано-суглинистыми пылеватыми илами зеленого цвета различных оттенков. Илы имеют чрезвычайно высокую влажность и пористость, низкую плотность, находятся в текучем и скрытотекучем состоянии, они являются недоуплотненными отложениями и имеют способность к тиксотропным превращениям, обладают малой прочностью и высокой деформируемостью. Возведение сооружений на данных отложениях возможно только при предварительной каменной наброске, либо прорезке илов сваями, сваями-оболочками, шпунтовыми стенками. Подводные откосы в них имеют чрезвычайно пологие углы.

Нижняя часть представлена пылеватыми глинами различного происхождения: озерно-морского, озерно-ледниково-морского и озерно-ледникового, эти отложения распространены повсеместно. Глины обладают более низкими значениями влажности, пористости и более высокими значениями плотности, чем илы, находятся в скрытотекучем текучепластичном и мягкопластичном состоянии, относятся к слаболитифицированным образованиям. Строительство различных сооружений на таких отложениях возможно при условии небольших нагрузок, улучшении свойств горных пород или если для сооружения допустимы большие неравномерные осадки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демидов В.Л., Кагак А.А. Инженерно-геологические проблемы защиты Ленинграда от наводнений. В кн.: Проблемы инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды. Тема 4. Инженерно-геологические проблемы градостроительства. Л., ЛГИ, 1976.

2. Логвиненко М.В., Барков Л.К., Гонтарев Е.А. Состав и динамика современных донных осадков восточной части Финского залива. - Вестник ЛГУ, сер. „Геология, география", 1978, № 12.

3. Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства позднеледниковых ленточных глин окрестностей Ленинграда. - Записки ЛГИ, 1965, т. 48, вып. 2.

4. Усикова Т.В., Клейменова Г.И., Джинорндзе Р.Н. Поздне- и послеледниковая история развития района Ленинграда. - Baltika, 1963, № 1.

5. Яковлева С.В. Основные этапы изучения четвертичных отложений и история развития восточной части Финского залива. - Baltica, 1963, № 1.