Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1986, т. 109

УДК 624.131 : 551.351.2

# ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГЛЯЦИАЛЬНЫХ ШЕЛЬФОВ И ПРИНЦИПЫ ИХ РАЙОНИРОВАНИЯ

М.А.СПИРИДОНОВ, А.Е.РЫБАЛКО,
М.С.ЗАХАРОВ, Н.Г.КОРВЕТ

Относительно мелководные районы Баренцева, Белого и Балтийского морей в связи с общностью основных этапов их позднего геологического развития относятся к единой ледниковой зоне европейского центра оледенения. Целый ряд определяющих признаков внутреннего строения осадочного чехла и рельефа морского дна указанных бассейнов позволяет относить их к общей морфоструктуре гляциального шельфа.

Неоднородный покров рыхлых осадков формировался под влиянием активных блоковых движений дочетвертичного основания в неоген-четвертичное время, неоднократно проявлявшихся покровных оледенений и, наконец, гляциоэвстатической трансгрессии [3]. Палеогеографические условия, существовавшие на гляциальных шельфах в позднем плейстоцене-голоцене, решающим образом сказались на физико-механических свойствах четвертичных отложений.

Несмотря на все многообразие фациальных обстановок, существовавших на описываемом типе континентальной окраины в рассматриваемый интервал времени и определявшихся географическим положением, характером связи с Мировым океаном и другими факторами, все они могут быть объединены в три крупных сообщества, которые отвечают основным этапам геологического развития гляциального шельфа: максимальному распространению ледникового покрова, его деградации и развитию современных морских бассейнов. В последнем случае седиментация всецело определяется морскими условиями осадконакопления [6]. Соответствует вышесказанному и предлагаемое нами выделение трех основных комплексов, закономерно сменяющих друг друга во времени и составляющих единый ритм трансгрессивного развития гляциального шельфа на протяжении ледникового-межледникового периодов: ледниковый, ледниково-водный, морской.

Последнее валдайское оледенение захватило большую часть гляциальных шельфов, в результате чего был сформирован ледниковый комплекс отложений. Литологический состав ледниковых отложений тесно связан с их генезисом и во многом отвечает закономерностям, выявленным в настоящее время в пределах суши [4, 8]. Они представлены существенно глинистыми образованиями, неоднородными по гранулометрическому составу, имеют высокую плотность (2,05-2,25 г/см$^3$), характеризуются почти полной водонепроницаемостью. Высокие строительные качества и почти повсеместное распространение морены позволяют использовать ее как надежное основание для размещения сооружений [7]. Кроме того, моренные отложения можно использовать в качестве строительного материала.

Накопление отложений ледниково-водного комплекса знаменует собой второй важнейший этап геологического развития рассматриваемого типа шельфа – осадкообразование в водных бассейнах в условиях быстро поднимающегося уровня моря при взаимодействии гляциоэвстатической трансгрессии и тектонического и гляциоизостатического воздымания суши. Специфичность седиментационных процессов подчеркивается также и значительным влиянием на них тающего и постепенно отступающего льда, что обусловило массовое поступление тонкого обломочного материала. Изменение уровня моря сопровождалось активными процессами перемыва морены, формированием остаточного бронирующего покрова и раздельным накоплением возникших при этом песчаных (вблизи берегов) и глинистых (в глубоководных участках) осадков. В целом, это был период наиболее мощного осадконакопления в позднечетвертичное время, свидетельство чему – мощная толща осадков, практически перекрывающая почти всю поверхность шельфа и часто нивелирующая неровности первичного рельефа [2].

В литологическом составе осадков рассматриваемых отложений нашли отражение как черты, связанные с осадкообразованием в типичных водных условиях, так и особенности, обусловленные существованием неподалеку края ледника. Весьма характерным их признаком является наличие слоистых текстур, отражающих пульсационное поступление обломочного материала. Обилие поступающих с талыми водами тонких перетертых обломочных частиц привело к количественному преобладанию глинистых и алевритовых осадков, хотя сортировка их весьма плохая: в ледниково-морских отложениях постоянно присутствуют обломки более крупного, чаще всего псаммитового, размера.

Как правило, в пределах шельфа отсутствуют и типичные прибрежные отложения, что может быть вызвано наличием ледяных берегов, круто уходящих на значительную глубину. Кроме того, в связи с тем, что площадь существовавших приледниковых озер значительно превышала площадь современных водоемов, следует ожидать появления береговых фаций рассматриваемых бассейнов на нынешней суше. Характерен также и намечающийся в большинстве разрезов их "трансгрессивный" облик, выражающийся в постепенном нарастании признаков глубоководности (исчезновении слоистости вверх по разрезу и уменьшению зернистости осадков в том же направлении).

Хотя в большинстве случаев это связано с постепенным повышением уровня моря – следствием послеледниковой трансгрессии, закономерное снижение содержания песчано-алевритового материала отражает также постепенное уменьшение его количества, поступающего от тающего ледника в связи с его дальнейшим отступлением. Это особенно четко проявлено в Финском заливе, где достоверно установлены признаки периодического падения уровня приледниковых озер, которые, впрочем, весьма мало сказывались в центральных, наиболее глубоководных их частях.

Формирование осадков в водном бассейне благоприятно повлияло на процессы глинообразования, в них начали проявляться процессы аутигенного минералообразования, прежде всего, баритообразования. В то же время слабое развитие органической жизни обусловило незначительное содержание в описываемых отложениях биогенных компонентов ($SiO_{2_{аут}}$, $CaCO_3$, $C_{орг}$).

Накопление водно-ледниковых отложений в водной среде привело и к резкому изменению их физико-механических свойств. Консистенция их, по данным пенетрационных испытаний, является текучей или текучепластичной. Ленточные глины (под этим собирательным термином описаны осадки различного гранулометрического состава от алевроглин до песчано-глинистых алевритов) характеризуются естественной влажностью от 23 до 41 % и плотностью 1,79–2,03 г/см$^3$. Показатель коллоидной активности 0,27–1,50. Близки им по свойствам и ледниково-морские слоистые глины, содержащие песчанистые прослои, хотя плотность их не опускается ниже 2,0 г/см$^3$, а коэффициент пористости составляет 0,67–0,81. Однородные глины, венчающие разрез ледниково-морской формации, обычно имеют повышенную влажность (64–84 %), меньшую плотность (1,53–1,69 г/см$^3$), среднее значение коэффициента пористости 2,34.

Таким образом, ледниково-водный этап геологического развития гляциального шельфа знаменует собой начало проявления процессов осадочной дифференциации и отличается наиболее высоким темпом седиментации, что привело к частичной нивелировке отдельных неровностей доледникового и ледникового рельефов.

Литологический состав морских отложений весьма пестр и отражает полифациальность условий их образования. Тем не менее им присущи и общие черты, отражающие особенности морского седиментогенеза. К ним относятся прежде всего зеленоватые тона окраски большей части осадков, появление которых связано с накоплением этих осадков в слабо восстановительной среде. Морские образования среди прочих наиболее обогащены биогенными компонентами [6]. В мелководном Финском заливе нередко отмечаются горизонты сапропелевидных илов, где содержание органики достигает 8 %. При благоприятных условиях местами возникают скопления и биогенного карбоната, с суммарным содержанием $CaCO_3$ 80–90 % [9]. Для описываемых отложений весьма характерна диагенетическая пятнистость, обусловленная перераспределением $C_{орг}$, и связанное с ним аутигенное минералообразование. Наибольшим распространением среди аутигенных минералов пользуется гидротроиллит и развивающийся по нему пирит.

В тесной связи с литологическими особенностями и процессами диагенетических преобразований находятся их физико-механические свойства [5]. Они претерпевают значительные изменения как по глубине, так и по площади распространения. Рассмотрим эти особенности на примере морских отложений Белого моря.

Влажность тонких пелитов зеленовато-серого цвета, накапливающихся в отдельных изолированных котловинах (содержание частиц меньше 0,002 мм составляет 50–58 %), в верхнем слое меняется от 45 до 102 %. С глубиной она заметно снижается и глубже 2,0 м составляет уже 30–65 %. Наблюдающийся иногда с глубиной рост влажности связан с увеличением содержания $C_{орг}$. Плотность осадков в верхнем слое в среднем 1,54 г/см$^3$, а на глубине до 1,79 г/см$^3$. Плотность минеральной части 2,78–2,80 г/см$^3$.

В типичных бассейновых глинистых осадках, характеризующихся в поверхности типичной текучей консистенцией и содержащих большое количество черных

диагенетических стяжений, придающих им характерный пятнистый облик, содержание органического вещества резко увеличивается (потери при прокаливании достигают 12 %). Естественная влажность в изученных разрезах колеблется от 70 до 101 %, достигая (в осадках, обогащенных диагенетическими стяжениями) 120-140 %. Плотность осадков меняется от 1,39 до 1,70 г/см$^3$, плотность минеральной части 2,59-2,78 г/см$^3$. Показатель относительной влажности этих отложений больше единицы. Показатель относительной консистенции во всех случаях имеет отрицательное значение, результаты пенетрационных испытаний характеризуют состояние этих осадков как текучее или текучепластичное.

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы. Естественная и относительная влажность морских осадков незначительна, но равномерно уменьшается с глубиной, что свидетельствует о нормальных диагенетических преобразованиях разреза. Наблюдаемое в ряде случаев резкое увеличение естественной влажности с глубиной связано с ростом содержания органического вещества. С глубиной повышается также уплотненность осадков, и они приобретают новые характеристики физического состояния.

Необходимость комплексного геологического изучения гляциальных шельфов не в последнюю очередь диктуется разнообразными задачами его хозяйственного освоения, в первую очередь портового и гидротехнического строительства. Следует подчеркнуть, что зона этих шельфов характеризуется особым типом инженерно-геологических условий, определяемых взаимодействием суши, воды, атмосферы и различного рода сооружений, особенно на территориях таких крупных городских агломераций как Ленинград, Рига, Таллин, Калининград, Клайпеда, Мурманск, Архангельск и некоторые другие. Здесь уже существует и быстро меняется особый тип геологической среды, и вся береговая зона, включающая собственно шельф, должна рассматриваться как самостоятельный тип инженерно-геологических условий и соответствующих ему территориальных таксонов.

Многообразие процессов, протекающих в пределах береговой зоны, делает чрезвычайно актуальным применение системного подхода и структурно-функциального анализа для оценки ее инженерно-геологических условий и прогноза их изменений. Методологическая схема, по которой строится этот анализ, прежде всего предполагает, что в пределах береговой зоны выделяются ведущие процессы, которые позволяют рассмотреть некоторые целостные территориальные образования - системы. Эта задача связана с выполнением многовариантного районирования по одной и той же территории, в основе которого лежит достаточно четкое представление о механизме этих процессов. В этом случае наблюдения за некоторыми параметрами процессов или функциональные зависимости позволяют достаточно надежно очертить территории, а иногда выделить соответствующие объемы литосферы, которые испытывают определяющее воздействие того или иного процесса. Каждый такой ведущий процесс может быть охарактеризован определенной пространственной структурой (совокупностью отношений частей или элементов, слагающих пространство), которая получает в ходе естественной или техногенной эволюции местности достаточно устойчивую форму и организацию.

Роль элемента пространственной структуры в задачах инженерно-геологического характера будут выполнять геологические тела. Особенности строения береговой зоны выражаются прежде всего в ее рельефе, в ступенчатом строении, характеризующем динамику взаимодействия воды и горных пород. Так возникает представление о последовательной смене (по направлению от акватории к суше) ряда специфических зон: например, внешняя зона шельфа – внутренняя зона шельфа (граница между ними характеризуется определенным соотношением глубин и длин волн господствующего спектра) – волноприбойная зона – приливно-отливная зона – береговой уступ – приморская террасированная равнина и т.д. Характеризуя организацию береговой зоны, важно выделить устойчивые морфометрические ступени.

Направленное изменение всех частей (подсистем) береговой зоны определяет ее современную форму, позволяет оценивать тенденции ее развития. Вводя в эту систему внешнее воздействие, получаем возможность прогнозировать изменение береговой зоны на требуемый интервал времени.

Так, можно предположить, что строительство ограждающих дамб в Онежском заливе Белого моря в случае создания там водохранилища пресных вод должно в полной мере учесть рассмотренные выше аспекты системного строения береговой зоны [I]. Если проектируемые дамбы будут расположены на мелководье в центральной части структурно-абразионной и расчлененной равнины на архейском кристаллическом основании, возникнет как бы искусственный береговой вал, который рассечет достаточно активную гидродинамическую зону на две части и существенно изменит весь баланс наносов и гидрохимическую обстановку.

Наиболее рациональный вариант просматривается в расположении ограждающих дамб вдоль восточной границы этого района со следующей нижележащей ступенью. Эта граница довольно четко фиксируется по цепочке островов, представляющих выступы кристаллического фундамента Балтийского щита. В этом случае внутри водохранилища окажутся активные поля голоценовой аккумуляции, связанные с формированием мощных аллювиально-морских покровов в местах дельтовых выносов. Безусловно, это предсказание требует соответствующего подтверждения с помощью стационарных наблюдений, моделирования или расчетным способом, но системный анализ в данном случае наиболее четко обрисовывает ситуацию и выдвигает задачи дальнейших исследований.

Можно предположить, что структурно-функциональный анализ, направленный на выделение целостных образований позволяет наиболее полно учесть требования рационального использования геологической среды. При этом следует учитывать, что вскрываемая на его основе организация геопространства далеко не всегда связана с обычным обоснованием стратиграфо-генетических границ. Так, в упомянутом Онежском заливе восточную границу внутренней глубоководной ступени (района) следует проводить по водоразделу подводной моренной гряды, протянувшейся от архангельского берега на Соловецкий архипелаг, рассекая эту гряду на две части, сугубо различные по современным гидродинамическим условиям.

Учет особенностей проектируемых сооружений, особенно в связи с осуществлением крупных и комплексных проектов требует всестороннего учета не только целостности, но и расчлененности выделяемых систем, которая характеризуется различными типами геологических тел. Поскольку представление о свойствах геологических тел выражается обычно с помощью специальной инженерно-геологической классификации горных пород, такие тела можно называть инженерно-геологическими комплексами. Эти тела для гляциальных шельфов весьма специфичны. В их строении принимают участие широкий спектр современных осадков (пески, илы), относящихся по своим строительным качествам к образованиям особого состава и свойств.

Наши исследования их физического состояния с последующей группировкой с помощью факторного анализа позволили обоснованно выделить несколько разновидностей в различных диапазонах плотности, влажности, консистенции. Указанная группа осадков подстилается нормально уплотненными глинистыми породами (моренные и озерно-ледниковые суглинки, супеси, глины), а также твердыми скальными породами кристаллического фундамента. Широкий комплекс геофизических методов в большинстве случаев позволяет оценивать мощность рыхлых отложений, в ряде случаев определить их состав, а также прослеживать положение отражающих горизонтов и прежде всего кровли кристаллических пород. Соотношение указанных пород в вертикальном разрезе весьма специфично для различных районов Онежского залива.

Таким образом, комплексное исследование четвертичных отложений гляциального шельфа позволило наметить четкую цикличность его развития, заключающуюся в закономерной смене отложений, отражающих последовательную смену ледникового седиментогенеза морскими седиментационными процессами в ходе деградации материкового оледенения. Полученные при изучении верхнеплейстоценовых-голоценовых отложений данные несомненно должны учитываться и при изучении более древних, в том числе и дочетвертичных оледенений. Особое значение приобретают данные о принципиальных отличиях морского седиментогенеза на открытом шельфе и во внутренних морях. Наконец, на примере гляциального шельфа продемонстрирована плодотворность и успешность комплекса геологических и инженерно-геологических исследований как в отношении установления традиционных связей историко-геологического плана, так и конструктивного структурно-системного подхода, направленного на выявление и синтез целостных геологических объектов специального назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вархатов Т.Л., Израелян Г.А. Создание пресноводного водохранилища в Онежской губе. – Гидротехника и мелиорация, 1981, № 12.

2. Геология Белого моря / М.А.Спиридонов, Н.А.Девдариани, А.В.Калинин и др. – Советская геология, 1980, № 4.

3. Гроссвальд М.Г. Оледенение Баренцева шельфа в позднем плейстоцене и голоцене. – Материалы гляциологических исследований, 1967, вып. 13, № 1.

4. Каган А.А., Солодухин М.А. Моренные отложения Северо-Запада СССР. М., Недра, 1976.

5. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Специальная инженерная геология. Л., Недра, 1978.

6. Невесский Е.Н., Медведев В.С., Калиненко В.В. Белое море. Седиментогенез и история развития в голоцене. М., Наука, 1977.

7. Прочухан Д.П. Инженерно-геологические условия строительства плотин на ледниковых отложениях в Карелии и на Кольском полуострове. - В кн.: Геология и плотины. М., Энергия, 1967.

8. Рухина Е.В. Литология ледниковых отложений. Л., Недра, 1973.

9. Яковлева Т.В., Гуревич В.И. Ракушечные отложения Воронки Белого моря. - Донные отложения и биоценозы Баренцева и Белого морей. Апатиты, изд. Кольского филиала АН СССР, 1974.