

© 2014 г. **А.Ш. ХАБИДОВ***, Л.А. ЖИНДАРЕВ**, Е.А. ФЁДОРОВА*, К.В. МАРУСИН***БЕРЕГОВАЯ ЗОНА КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ
(СТ. 2. СТРОЕНИЕ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ)¹**** Ин-т водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул; iwep@iwep.ru**** Географический ф-т МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва; lzhindarev@yandex.ru***Введение**

Ф. Петтиджон [1] определил осадок как продукт источника сноса и обстановки осадконакопления, связав тем самым свойства осадка с геоморфологическими и динамическими (физическими) условиями, в которых происходит его образование. Поэтому, учитывая результаты предшествующих исследований [2–5 и др.] и данные, приведенные в этой части настоящей статьи, мы получаем достаточные основания не только для разделения формируемой в котловине искусственных водоемов среды рельефообразования и осадконакопления на обстановки преимущественно флювиального и преимущественно волнового морфолитогенеза, перемежаемых обстановками переходного типа, но и для выделения в их границах субобстановок с заметно различными условиями накопления осадков.

Строение осадочных толщ областей преимущественно флювиального морфолитогенеза. В части 1 данной статьи [6] мы уже говорили, что еще в ранних работах С.Л. Вендрова было выдвинуто предположение о сходстве основных черт строения речных дельт со строением зоны выклинивания подпора искусственных водоемов. Однако эта идея длительное время не получала дальнейшего развития², по крайней мере, до проведения нами специальных исследований на Новосибирском водохранилище [7].

В пределах описываемой “дельтовой” области движение воды в активных руслах однонаправленное. В этом смысле они подобны руслам собственно речных систем, где накопление терригенного материала чаще всего связано с миграцией русловых аккумулятивных форм (отмелей, гряд и т.д.) и в значительной мере контролируется сезонной изменчивостью стока реки и переносимого ею рыхлого материала. Поэтому осадкам, слагающим верхнюю часть Новосибирского водохранилища русла активных “дельтовых” проток, свойственна ритмичность строения, отражающая повторяющиеся циклы накопления аллювиального материала. В вертикальном разрезе здесь отмечаются последовательные серии отложений, в основании которых обычно залегают грубослоистые пески, сменяемые выше более тонкими песками с косой слоистостью или слоистостью ряби. Местами такое залегание осадков нарушается появлением совершенно “нелогичных” прослоев тонкозернистого материала с включениями растительных остатков. Во внутренней структуре этих слоев часто отмечаются отчетливые признаки текстур конседиментационных деформаций, что в совокупности с наличием растительных остатков позволяет интерпретировать их как результат поступления продуктов размыва берегов.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 11-05-00615-а и № 11-05-10046-к) и Федеральной целевой программы “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы” (проект № 16.515.11.5075).

² Впрочем, это относится и ко всем другим аспектам проблемы строения осадочных толщ в котловине и береговой зоне водохранилищ, обстоятельное изучение которых начато лишь в последние годы.

Иное строение имеют осадки отмирающих русел, для которых характерно общее утончение материала вверх по разрезу. По-видимому, это обусловлено тем, что в таких протоках поступившие извне наносы перемещаются постепенно ослабевающим течением.

Пространственная локализация процессов, действующих вне главного русла и проток на основной площади областей преимущественно флювиального морфолито-генеза, определяется, как собственно и в дельтах, удаленностью от русел. При этом субаквальные прирусловые фации (например, если они представлены алевроитами с прослоями глин и органического вещества) поглощаются более грубыми отложениями прирусловых валов, для которых характерным является развитие ряби течения различных типов и косой слоистости, а также неправильной слойчатости, причина возникновения которой – воздействие корней травянистой растительности.

Центральные и дистальные фации данной области представлены осадками “внутридельтовых” озер, заливов и болот. Осадки болот – это обычно илы с линзами тонкослоистых алевроитов, приносимых во время наполнения водоема, и довольно высоким значительным содержанием органического вещества. Более грубозернистый материал с характерной горизонтальной слоистостью и знаками ряби образует осадочный комплекс озер, глубина которых редко бывает выше 2–3 м. Донные осадки мелководных заливов имеют близкий гранулометрический состав, но отличаются от озерных характером слоистости. Для них более типично переслаивание тонкого материала более грубым в районах с практически полным отсутствием волновой активности и линзовидная слоистость в зонах, подверженных воздействию слабого волнения.

Строение осадочных толщ береговой зоны водохранилищ

Строение осадочных толщ зон раздела областей преимущественно флювиального и волнового морфолитогенеза. Фронтальная (или проксимальная) зона области преимущественно флювиального морфолитогенеза на водохранилищах приурочена к мелководьям (по С.Л. Вендрову – это мелководно-осушная зона); большие глубины наблюдаются там, где мелководье пересекает затопленное русло и рукава образующей водоем реки. На этом участке типичные для внутридельтовых районов субобстановки рельефообразования и осадконакопления замещаются субобстановками мелководного водоема, в пределах которых сравнительно грубый материал донных осадков постепенно замещается более тонким. Происходящие изменения одновременно отражаются не только в рельефе, но и в строении осадков, особенно в береговой зоне водохранилища, где в первую очередь начинает проявляться деятельность ветрового волнения.

На том же Новосибирском водохранилище вблизи области преимущественно флювиального морфолитогенеза в строении осадков прослеживается косая слоистость ряби течения, и присутствуют такие признаки деятельности текущих вод, как ребристо-желобковые знаки и т.п. Вниз по течению эти отложения замещаются толщами, в которых перемежаются серии осадков флювиального и волнового генезиса. Подобная цикличность, по-видимому, обусловлена сезонной асинхронностью процессов осадконакопления, которые контролируются деятельностью стоковых течений и ветрового волнения. Однако иногда последовательность слоев нарушается. Причинами таких нарушений, по-видимому, являются или размыв осадков волнового генезиса постоянными течениями при более высокой, чем в предшествующий год (сезон года), интенсивности водообмена, или же срезание флювиальной серии осадков волнами при длиннопериодных колебаниях уровня воды.

Строение осадочных толщ областей преимущественно волнового морфолитогенеза береговых зон наиболее крупных водохранилищ. С учетом характерной величины волновых нагрузок побережья внутренних водоемов обычно относят к типу “побережий низкой энергии” [8]. Если взглянуть под этим углом зрения на водохранилища, то, следуя [9], можно ожидать, что формируемые в их береговой зоне аккумулятивные формы рельефа будут сложены преимущественно тонкозернистым материалом. На самом

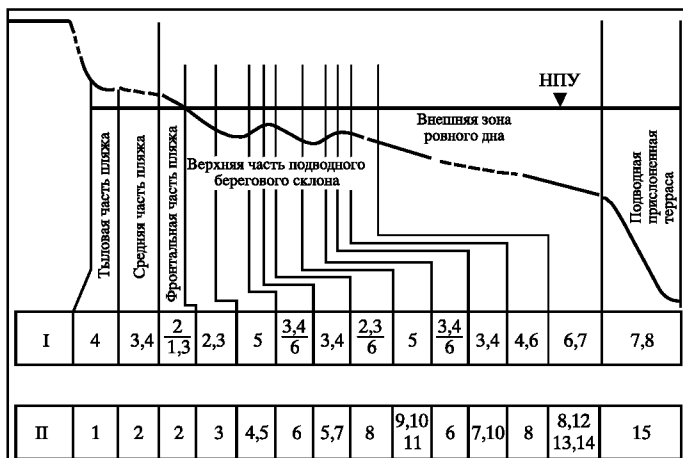


Рис. 1. Обобщенная схема вертикальной дифференциации структур и характера слоистости осадков береговой зоны крупного водохранилища

Гранулометрический состав осадков (I): 1 – гравий и галька; *песок*: 2 – крупнозернистый, 3 – среднезернистый, 4 – мелкозернистый, 5 – разнотернистый; *алеврит*: 6 – крупный, 7 – мелкий; 8 – пелит (в числителе – преобладающие фракции, в знаменателе – примеси).

Приоритетные типы слоистости (II) *песчаных отложений*: 1 – тонкая, 2 – косая пляжа, 3 – параллельная, 4 – косая ложбины приурезового подводного вала; *без указания литологии*: 5 – мульдообразная, 6 – плоскостная косая, 7 – горизонтальная или субгоризонтальная плоская, 8 – пологонаклонная косая, 9 – косая мегарифелей, 10 – мелкая рифельная, 11 – косая клиновидная, 12 – субгоризонтальная параллельная, 13 – грубого переслаивания, 14 – отдельных флазеров и линз, 15 – диагональная с крутым падением слоев

деле это не совсем так: хотя наиболее представительные структуры осадков на многих водохранилищах, действительно, чаще всего отличает сочетание в различных пропорциях частиц с размерностью от 1.0–0.5 мм (крупнозернистый песок) до 0.05–0.001 мм (мелкий алеврит), но, вместе с тем, в осадках пляжа и зоны обрушения ветровых волн здесь встречаются мощные (до 0.5–0.6 м) прослои привнесенного гравийно-галечного материала. Более того, известно, что на берегах крупных искусственных водоемов в волновом потоке переносятся даже крупная галька и мелкие валуны (диаметр около 10 см) [10]. Поэтому всегда следует ожидать накопления грубозернистого материала в тех случаях, когда он присутствует в области питания береговой зоны наносами.

На рис. 1 представлена обобщенная схема, составленная по материалам детального изучения строения осадочных толщ береговой зоны Новосибирского водохранилища [5] и обследования берегов нормального развития других искусственных водоемов волжского, камского, днепровского и ангарского каскадов ГЭС. Здесь подводная прислоненная аккумулятивная терраса, внешняя зона ровного дна, верхняя часть подводного берегового склона, включающая зону подводных песчаных валов (если таковые образуются), приурезовая зона, а также собственно пляж являются субобстановками с заметно различными условиями образования осадков. При этом основное внимание уделялось берегам, сложенным рыхлыми (главным образом, пески) и слабосцементированными (супеси, песчаные и алевритовые суглинки) породами. Рассмотрим данную схему детальнее.

Слоистость осадков пляжей. Толща пляжевых отложений сложена преимущественно песками. В кровле осадков тыловой части пляжа преобладают мелкозернистые разности – тонкослоистые пески мощностью 3–4 см, отдельные слойки которых залегают с небольшим угловым несогласием. Вниз по профилю в направлении фронтальной зоны пляжа крупность материала постепенно возрастает, и в приурезовой полосе уже преобладает крупнозернистый песок, часто с примесью гравия и гальки. Пляжевые отложения приобретают ярко выраженную косую слоистость, которая образована

срезающими друг друга линзовидными сериями наклонных слоев. Эти серии объединяют по 10–16 (иногда и более) слоев и имеют мощность до 35–45 см. Типичный угол наклона слоев – 4–7°, реже – до 20°, но иногда может превышать 30–35°. В общем случае величина угла наклона слоев обратно пропорциональна ширине пляжа; причем в его средней, более пологой части, она всегда меньше, чем вблизи уреза. Для тыловой и средней частей пляжа более характерен наклон слоев в сторону водоема, а вблизи уреза слои отдельных серий наклонены в сторону берега.

Ранее мы уже говорили, что типичным элементом рельефа пляжей являются штормовые валы [6]. В основании таких валов лежит несогласно залегающая с подстилающими осадками пачка крупнозернистого песка с субгоризонтальной или даже горизонтальной слоистостью. Выше, как правило, залегают косослоистые серии, слои которых падают под углами от 7 (мористый склон вала) до 30° (береговой склон вала). Вблизи гребня отдельные слои могут располагаться субгоризонтально.

Слоистость осадков верхней части подводного берегового склона. На песчаных берегах водохранилищ обрушение ветровых волн обычно начинается еще в зоне подводных валов, а завершается вблизи уреза воды, где образуется прибойный поток. Рельеф дна этой области прибрежной зоны чрезвычайно изменчив, и этой связи мы не будем выделять отдельные ее участки, а рассмотрим строение осадков верхней части склона в целом.

Пляжи водохранилищ повсеместно оконтуривает миниатюрный уступ (т.н. отсыпь), сложенный грубым материалом и образованный падающими под углом до 30–35° параллельными слоями осадка. Расположенный мористее участок дна приурочен к зоне исключительно высокой гидродинамической активности. Во время штормов мелкие частицы удаляются отсюда течениями, и потому обычно здесь преобладают крупнозернистые с примесью среднезернистых пески. В типичном случае пески наложены параллельно под углом до 3–5°. Однако в разрезах встречаются и косослоистые серии с более крутым падением. Последние, по-видимому, можно рассматривать как результат миграции пляжевого уступа при наращивании и отступании пляжа или при колебаниях уровня воды. Серии с падением слоев от берега – как результат миграции уступа вниз по склону, а серии с падением слоев к берегу – как результат миграции уступа к берегу. Иногда встречаются пачки песков, содержащие своеобразные структуры из параллельных слоев двучленного строения, когда нижний базальный слой мелких частиц перекрывается более крупным материалом. Такие пачки впервые были обнаружены на морских побережьях “высокой энергии” и были названы “куплетами” [11]. Рифельные текстуры здесь обнаруживаются в единичных случаях.

Ниже по склону располагается ложбина первого подводного вала, выполненная разнозернистыми, обычно косослоистыми песками. Характерное для них частое изменение угла наклона слоев свидетельствует об изменчивости гидродинамических условий в период образования осадка. Специальные исследования [9; 11, 12 и др.] позволили связать этот тип слоистости отложений ложбин подводных валов с миграцией рифелей, “дюн” и мегарифелей под действием волн и течений. С рифелями связан и другой, свойственный приурезовым ложбинам, тип слоистости – мультислойная слоистость разного масштаба. Довольно часто здесь встречаются погребенные сравнительно тонкозернистым материалом с беспорядочной слоистостью микроформы рельефа дна (рифели, песчаные волны и т.п.). Вообще говоря, захоронение таких форм рельефа довольно типично для водохранилищ, где наблюдается быстрое затухание штормов [6], и в прибрежной зоне происходит аккумуляция наносов.

По сравнению с приурезовой ложбиной, обращенный к берегу склон первого подводного вала обычно сложен более тонким материалом. Здесь преобладают мелко- и среднезернистые пески с примесью алевритов, иногда весьма значительной. Осадки отличается косая слоистость с крутым наклоном отдельных слоев в сторону уреза. Во время штормов приурезовой вал имеет тенденцию к перемещению вверх и вниз по профилю, в результате чего вблизи его вершины перемежаются косослоистые серии

осадков с несогласным залеганием и разными углами падения слоев. Иногда они прослеживаются и на гребне вала, хотя в его пределах более типична горизонтальная (субгоризонтальная) плоская и мульдобразная косая слоистость крупных рифелей.

Мористый склон вала устроен просто: формирующие его серии осадков полого наклонены в сторону водоема. Но, если вал имел значительные подвижки вниз по склону, в его разрезе появляются единичные серии с более крутым и даже обратным падением слоев.

Если подводный вал не единичен, то прилегающую к его подошве межваловую ложбину чаще всего выполняет рыхлый материал с размерностью частиц от алеврита до крупнозернистого песка. Причем при наличии 3–4 и более валов с увеличением глубины в нижерасположенных межваловых ложбинах диапазон крупности частиц сокращается. Осадкам первой межваловой ложбины свойственны три основных типа слоистости – косая слоистость мегарифелей, мелкая рифельная и косая клиновидная слоистости. Возникновение мелкомасштабной рифельной слоистости обусловлено деятельностью вдольбереговых течений, клиновидной – миграцией волновых рифелей [9, 11, 12 и др.]. В третьей и последующих ложбинах выражены только два последних типа слоистости отложений.

Обращенные к берегу склоны подводных валов вне зависимости от их положения на профиле повсеместно отличает плоскостная косая слоистость слагающего их материала. Для отложений гребней валов типичны субгоризонтальная параллельная слоистость и слоистость мелких рифелей, а для третьего и последующих валов – только последняя. Наконец, на мористых склонах подводных валов преобладает пологонаклонная (углы падения слоев не превышают 3–5°) косая слоистость, здесь же довольно часто обнаруживаются рифельные текстуры.

Слоистость осадков внешней зоны ровного дна. На расположенном ниже зоны подводных валов участке подводного берегового склона преобладает тонкозернистый материал – мелкозернистые пески с примесью алевритов постепенно сменяются алевритами и даже пелитами. Наиболее представительными типами слоистости осадков здесь являются пологонаклонная косая (углы падения слоев не превышают 1.5–2.5°) и субгоризонтальная параллельная. Наблюдается также чередование слоев мелкозернистого песка и алеврита мощностью от нескольких миллиметров до 2–3 см. На более высоких гипсометрических уровнях в толще, сложенной мелкозернистыми песками, довольно часто встречаются отдельные флазеры, а на более низких, где на дне преобладают алевриты, – линзы песков.

Слоистость осадков подводной прислоненной террасы. Угол наклона дна на этом участке профиля изменяется с 0.5–1.5 до 8–12° и более. Это находит свое отражение в строении слагающих террасу осадков, для которых характерна диагональная слоистость с крутым падением отдельных слоев. В результате поперечного переноса обломочного материала к террасе может подаваться весьма значительное количество наносов. По мере их накопления здесь складываются благоприятные условия форми-



Рис. 2. Штормовой слой в колонке осадков прибрежной зоны водохранилища

рования оползней-оплывин, а в результате оползания избыточных масс осадка остаточные (первоначальные) и более поздние накопления разделяет четко выраженная поверхность смещения.

Характер слоистости единичных штормовых слоев (рис. 2) изучался нами на участках подводного берегового склона, не осложненных подводными валами, мощность проксимальной части таких слоев не превышала 17–20 см, а дистальной – 3–5 см даже в условиях сильного шторма. В проксимальной части типичный штормовой слой начинается с грубозернистой поверхности размыва (крупнозернистый песок, реже – гравий), которая очень резко переходит в мелкозернистые пески. В структуре слоя снизу вверх обычно четко выражены субпараллельная, слабоволнистая, а также мелкая рифельная слоистости. Вниз по склону грубый материал постепенно выклинивается. Одновременно уменьшается толщина отдельных слоев в вышележащей пачке, а в дистальной части обычно наблюдается тонкое переслаивание мелкозернистых песков и алевроитов, к которым иногда примешивается пелит.

Заключение

1. Дельтовидный облик областей преимущественно флювиального морфолитогенеза водохранилищ подчеркивается сходством основных черт строения слагающих их осадков со строением осадочных толщ в дельтах рек, впадающих в моря.

2. В области раздела обстановок преимущественно флювиального и волнового морфолитогенеза типичные для внутридельтовых районов субобстановки рельефообразования и осадконакопления замещаются субобстановками мелководного водоема.

3. В береговой зоне областей преимущественно волнового морфолитогенеза водохранилищ субобстановки с различными условиями образования осадков приурочены к подводным прислоненным террасам, внешней зоне ровного дна, зоне подводных песчаных валов (при их образовании), приурезовой зоне и собственно пляжу. Каждой из этих субобстановок осадконакопления соответствуют осадочные комплексы с вполне определенными признаками – структурой и текстурой осадков.

4. Поскольку информация об особенностях строения осадочных толщ береговой зоны искусственных водоемов в отечественной и зарубежной литературе практически отсутствует, а специальные исследования были начаты лишь недавно, дать исчерпывающую характеристику осадков в разных субобстановках береговой зоны водохранилищ пока затруднительно. В этой связи представленные здесь данные имеют характер предварительного обобщения.

5. Совместный анализ основных черт рельефа береговой зоны и особенностей строения толщ слагающих ее осадков позволяет получить общее представление об основных закономерностях развития берегов искусственных водоемов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pettijohn F.J.* Sedimentary rocks. New-York: Harper & Row, 1957. 718 p.
2. Кадастр водохранилищ СССР (водохранилища объемом 50 млн. м³ и более). Л.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1971. 570 с.
3. *Вендров С.Л., Маккавеев Н.И., Мельникова Г.Л., Широков В.М.* Эволюция берегов и дна водохранилищ // Инженерно-географические проблемы проектирования и эксплуатации крупных равнинных водохранилищ. М.: Наука, 1972. С. 7–49.
4. *Финаров Д.П.* Динамика берегов и котловин водохранилищ гидроэлектростанций СССР. Л.: Энергия, 1974. 244 с.
5. *Khabidov A.* Coastal morphology and recent coastal sediments of large man-made lakes. Novosibirsk: Nauka. Siberian Enterprise of the RAS, 1999. 117 p.
6. *Хабидов А.Ш., Жиндарев Л.А., Фёдорова Е.А., Марусин К.В.* Береговая зона крупных водохранилищ (ст. 1. Основные черты рельефа) // Геоморфология. 2014. № 1. С. 29–35.

7. Хабидов А.Ш., Федорова Е.А., Марусин К.В. Развитие рельефа области преимущественно флювиального морфолитогенеза крупного равнинного водохранилища долинного типа // Изв. АГУ. 2011. № 3/1 (67). С. 129–133.
8. Reineck H.E., Singh L.B. Depositional sedimentary environments with reference to terrigenous clastics. Berlin–Heidelberg–New-York: Springer–Verlag, 1973. 428 p.
9. Howard J.D., Reineck H.E. Depositional facies of high energy beach-to-offshore sequence, comprison with low energy sequence // Bul. Amer. Ass. of petroleum geol. 1981. V. 65. P. 807–830.
10. Печеркин И.А., Печеркин А.И., Каченов В.И. Теоретические основы прогнозирования экзогенных геологических процессов на берегах водохранилищ. Пермь: Изд-во ПГУ, 1980. 85 с.
11. Clifton H.E., Hunter R.E., Phillips R.L. Depositional structures and processes in the non-barred, high-energy nearshore // Journ. Sedim. Petrol. 1971. V. 41. № 3. P. 651–670.
12. Davidson-Amott R.G.D., Greenwood B. Bedforms and structures associated with bar topography in the shallow-water wave environment // Journ. Sedim. Petrol. 1974. V. 44. № 4. P. 252–271.

Поступила в редакцию
после доработки 18.03.2013

COASTAL ZONE OF LARGE MAN-MADE LAKES (PAPER 2. DEPOSITIONAL SEDIMENTARY ENVIRONMENTS)

A.SH. KHABIDOV, L.A. ZHINDAREV, E.A. FEDOROVA, K.V. MARUSIN

Summary

Sedimentary structure in a delta-like area of the man-made lake basin, in the coastal transitional zone of wave-dominated and fluvial-dominated environments, and at the coasts with normal development of reservoirs where wind-induced waves are the key driving factor were thoroughly studied and described for the first time.