

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ГИДРОЛОГИИ УСТЬЕВ РЕК (К 90-ЛЕТИЮ В.Н. МИХАЙЛОВА)

УДК 551.24:(551.461.2+556.54)

КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ МОРЯ – КЛЮЧЕВОЙ ФАКТОР ДЕЛЬТОФОРМИРОВАНИЯ

© 2022 г. Д. Ю. Большианов^а, *, А. С. Макаров^а

^аАрктический и антарктический научно-исследовательский институт,
Санкт-Петербург, 199397 Россия

*e-mail: bolshiyarov@aari.ru

Поступила в редакцию 23.11.2021 г.

После доработки 23.11.2021 г.

Принята к публикации 29.03.2022 г.

На основе изучения геологического и геоморфологического строения устьевых областей рек Оби, Пясины, Хатанги, Лены предлагается модель развития дельт в результате колебаний уровня приемного водоема – Северного Ледовитого океана. Доказано, что современный облик дельт сложился именно в результате изменений базиса эрозии в многолетнем плане, а на основе изучения органо-минеральных отложений (специфических осадков, накапливающихся при морских трансгрессиях) предложен метод выявления эпизодов высокого стояния уровня палеоводоемов.

Ключевые слова: дельты Оби, Пясины, Хатанги, Лены, колебания уровня моря, органо-минеральные отложения, слоенка.

DOI: 10.31857/S0321059622050030

Исследователи устьевых областей рек давно понимают, что “Вековые и многолетние изменения уровня океана, морей и озер – важнейший фактор, влияющий на эволюцию дельт” [15]. Эпохи в развитии рек связаны с крупномасштабными трансгрессиями и регрессиями Мирового океана [16]. Последние оказывают воздействия на все звенья гидрографической сети [14]. В полном согласии с этими основополагающими закономерностями развития рек и рельефа их водосборных бассейнов при изучении любой речной дельты российской Арктики приходится убеждаться в том, что история и эволюция устьевых областей не закончилась 5–6 тыс. лет назад (л. н.), когда большинством исследователей постулируются стабилизация уровня Мирового океана около его современного положения [7, 18] и неизменность положения устьевых областей рек в течение последних тысячелетий и столетий. В представленных результатах исследований некоторых устьевых областей рек российской Арктики выдвигается положение о многократных и значимых колебаниях уровня приемного водоема – Северного Ледовитого океана в течение последних сотен и тысяч лет, запечатленных в геоморфологическом, геологическом и криолитологическом строении дельт. Описывается новый признак-критерий строения дельт (специфические органо-минеральные отложения), наличие которого может с высокой долей вероятности свидетель-

ствовать об этапах высокого стояния уровня моря и подпора стока рек на некоторых этапах осадочения эстуарно-морских отложений.

Рассматриваемые в статье дельты рек Оби, Пясины, Хатанги, Лены изучались в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте длительное время: Оби – в 1977–1983 гг., Пясины и Нижней Таймыры – в 1985–1987 гг., Хатанги и Анабара – в 1987–1990 гг., Лены – с 1998 г. по настоящее время. Исследовались геоморфологическое строение дельт, гидрография, гидрологические процессы, геологическое и криолитологическое строение устьевых областей. Большой объем фактического материала доступен лишь по немногочисленным публикациям. Только по комплексному исследованию дельты р. Лены удалось опубликовать монографию [6]. В данной статье обобщение полученного материала привело к ожидаемому выводу о том, что все вышеупомянутые дельты развиваются под влиянием одной самой главной причины – колебаний базиса эрозии, т. е. уровня Северного Ледовитого океана с небольшими особенностями, вызванными геологическим и геоморфологическим строением береговой зоны и взморья. Все эти дельты, в том числе и дельта р. Лены, – дельты выполнения эстуариев и заливов с продвижением конусов выноса вдоль долин на сотни километров в результате подъема или отступления уровня моря в голоцене и даже на протяжении последних сотен лет.

В подтверждение этого положения в статье приведены геоморфологические карты нескольких дельт арктических рек, на которых выявляются общие закономерности, свидетельствующие о колебательном характере изменений уровня Северного Ледовитого океана на протяжении сотен и тысяч лет. Наиболее подробно рассмотрены дельта р. Пясины и эстуарий р. Хатанги, в которых получены доказательства изменений уровня приемного бассейна, определивших развитие устьевых областей рек.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основной метод исследований – геоморфологическая съемка и изучение геологического строения надводных частей дельт рек. В результате съемки определены поверхности пойм и террас, а также слагающие их разновозрастные отложения. Определение возраста пойм и террас различной высоты приводит к выводам об истории развития дельт, пониманию этапности и периодичности заполнения эстуариев, последующих процессов размыва накопившихся толщ отложений и нового их образования. Высота поверхностей – очень важный параметр, она определялась всеми доступными методами: по топографическим картам, эклиметрованием, нивелированием. Возраст отложений, слагающих поймы и террасы, определялся радиоуглеродным датированием органических остатков, залегающих в отложениях. Относительный возраст пойм и террас определялся по развитости мерзлотных форм рельефа – полигонов, бугров пучения. Об относительном возрасте молодых поверхностей пойм также может свидетельствовать степень развитости на них растительного покрова. Состав отложений дельт позволяет различать русловые фации аллювия, широко распространенные в дельтах эстуарно-морские осадки, часто представленные значительными скоплениями органо-минеральных отложений. Спорово-пыльцевой анализ отложений, слагающих дельты, также может свидетельствовать о смене обстановок осадконакопления. Таким образом, геоморфологический анализ дельтовых равнин с одновременным изучением криолитологических особенностей отложений, их датированием и определением условий осадконакопления позволили предположить основные закономерности развития дельт изученных рек. Радиоуглеродный и спорово-пыльцевой анализ проведен в Лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана им. Кёппена СПбГУ (Лаборатории геохронологии Научно-исследовательского института географии Санкт-Петербургского государственного университета во время проведения анализов).

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И ОБСУЖДЕНИЕ

Дельта р. Оби

Дельта р. Оби (рис. 1) представляет собой массив островов, сосредоточенный, главным образом, в северной половине отрезка долины по широте и разделенный серией рукавов и притоков. В дельте насчитывается свыше 70 островов площадью от 0.6 до 169 км². Острова низкие. Высокая пойма (–5 м) имеет возраст 2600–800 радиоуглеродных лет. Все остальные поверхности пойм формировались 600 лет до настоящего времени [13]. Молодость поверхностей и их малая высота свидетельствуют о значительных скоростях миграции дельты вдоль эстуария Обской губы даже при небольших колебаниях уровня моря. О колебательных движениях дельты в плане свидетельствует наличие самой высокой поверхности древней поймы в восточной части дельты. Там эстуарно-дельтовое осадконакопление происходило 1500–900 л. н. при высоком стоянии уровня моря и полностью прекратилось ~800 л. н. в результате его понижения. Наличие более древних останков одновысотных поверхностей в мористых частях дельт – очень показательный фактор, доказывающий не простое длительное наращивание дельт в направлении от первого узла разветвления в сторону моря, а обратные соотношения роста дельт, вызванные колебательным характером вертикальных движений базиса эрозии [12].

Дельта р. Пясины

За дельту р. Пясины принята часть ее устьевой области от приверха о. Шайтан и м. Слудского (638-й км от устья р. Дудыпты по схеме судового хода) до границы устьевого бара (рис. 2). Этот отрезок равен 100 км по главному руслу реки. Ширина дельты достигает 35 км в средней части и 30 км в районе бара. Площадь дельты в принятых границах составляет 2635 км². По орогидрографическим признакам в ней выделяются 3 района (рис. 2): 1 – район внутренней дельты (площадь 533 км²), характеризующаяся высокими пойменными поверхностями, разделенными широкими рукавами; 2 – район пойменного массива в восточной части дельты площадью 1415 км²; 3 – район внешней дельты выдвигания площадью 687 км².

Острова дельты состоят из разновысотных и разновозрастных пойм. Наиболее низкая поверхность, находящаяся в подводном состоянии во время половодья, а на морском крае дельты и во время приливов, имеет наивысшие отметки до 1 м над меженивым уровнем реки. Эта поверхность побочней в районе 1 или осушки в районе бара ограничивает сверху геологические тела, слагаемые песчаным материалом, иногда с включения-

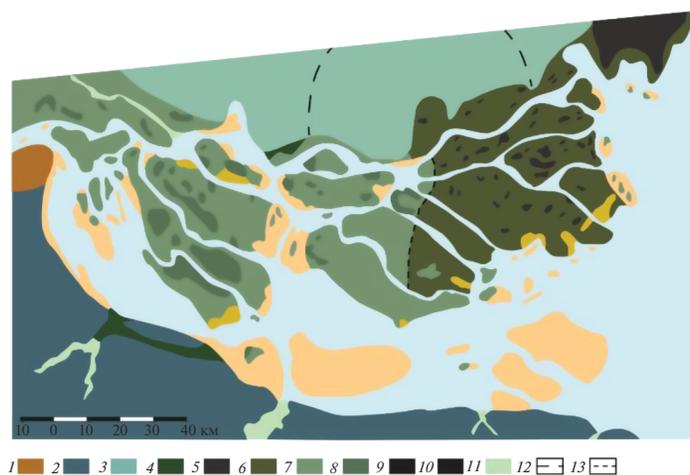


Рис. 1. Геоморфологическая карта дельты р. Оби. 1 – высокие террасы р. Оби, эродированные талыми водами пассивного ледника [2] сартанского возраста; 2 – лагунно-морские террасы докаргинского возраста на высотах 50–60 м; 3 – лагунно-морская терраса высотой 12–25 м каргинского возраста; 4 – первая надпойменная терраса (5–7 м), возраст 8000–4500 лет; 5 – высокая пойма (2–5 м) заливается только при катастрофических нагонах, возраст 2600–800 лет; 6 – низкая пойма (0.5–2 м), возраст 300 лет – современный; 7 – низкая пойма (0.3–2 м), возраст 300 лет – современный; 8 – высокая пойма (2–4 м), возраст 600 лет – современный; 9 – современные плоские отмели с грядовым микрорельефом, обнажающиеся в меженный период; 10 – низкая пойма, затапливаемая в результате подъема уровня; 11 – нетеррасированные долины притоков; 12 – граница структуры центрального типа; 13 – предполагаемые границы.

ми более крупных обломков. Такие мелководья распространены в основном в районе внешней дельты. Поверхность поймы 1 высотой до 1–1.7 м – непосредственное продолжение осушек. Она окаймляет острова в районе внутренней дельты и причленяется с 3 к пойменному массиву в восточной части дельты. На геоморфологической карте дельты (рис. 3) пойма 1 и осушка объединены одним знаком. Пойма 1 характеризуется разреженным растительным покровом по краям островов. Она сложена в основном также песчаным материкалом, а в случае сильного зарастания в старицах вскрывается илистый материал с большим количеством растительных остатков. Высота поймы 2 достигает 3 м (табл. 1) в районе 1 и 1.5 м в районе 2, слагается переслаивающимися песками и алевритовыми песками, с поверхности покрыта травянистой растительностью, редкими кустарниками ивы и частыми полями пушицы. Благодаря бульдозерному эффекту льда на пойме возникают деформации грунта, холмики и гряды высотой до 1 м, вторгающиеся на десятки метров в глубь островов. Во время половодья пойма 2 заливается. В районе внутренней дельты на ее поверхности иногда встречаются береговые валы. Пойма 3 – высокая, едва заливаемая поверхность высотой до 5.5 м (табл. 1). Основной ее отличительный признак – полигональность грунтов, наличие жильных льдов. Поверхность поймы заселена мхово-злаково-разнотравной растительностью с множеством кустарничков ивы. В термоэрозионных уступах поймы высотой до 4 м обнажается переслаивание растительных остатков, песка,

алеврита. Датировка одного из таких прослоев, вскрывающегося на глубине 0.6–0.75 м от поверхности поймы на о. Петранди, показала ее возраст 2680 ± 50 радиоуглеродных лет (ЛУ-1919). В спорово-пыльцевых спектрах торфов и песка отмечено большое количество древесной пыльцы, в которой много пыльцы хвойных пород (в том числе сосны сибирской, пихты, лиственницы), что свидетельствует о засорении спектров заносной пыльцой путем переноса ее текучими водами. В осадках совместно присутствует пыльца мариновых и полыни, что свидетельствует либо о сухости климата, либо о засолении грунтов. На площадях поймы 3, лишенных термокарстовых озер и аласов, скважины вскрывают значительные толщии песка, песчаных алевритов. В скважине глубиной 6.2 м на о. Тётка и в других скважинах вскрыты пески и переслаивание песков, алевритов, растительных остатков, прослой и линзы льда. Кроме пластовых, ледяных тел, в уступах поймы 3 развиты ледяные жилы видимой мощностью до 4 м, шириной до 2 м. Здесь же широко распространены округлые в плане озера, котловины спущенных озер (аласы) термокарстового происхождения. По приведенным признакам пойма 3 хорошо дешифруется на аэрофотоснимках.

От вершины дельты к устьевому взморью на поверхностях пойм уменьшается количество аласов, озер, полигональная сеть развита слабее и находится на более раннем этапе формирования по сравнению с островами внутренней дельты. На пойме в районе внутренней дельты существуют прирусловые валы (высота 1.0–1.2 м, ширина

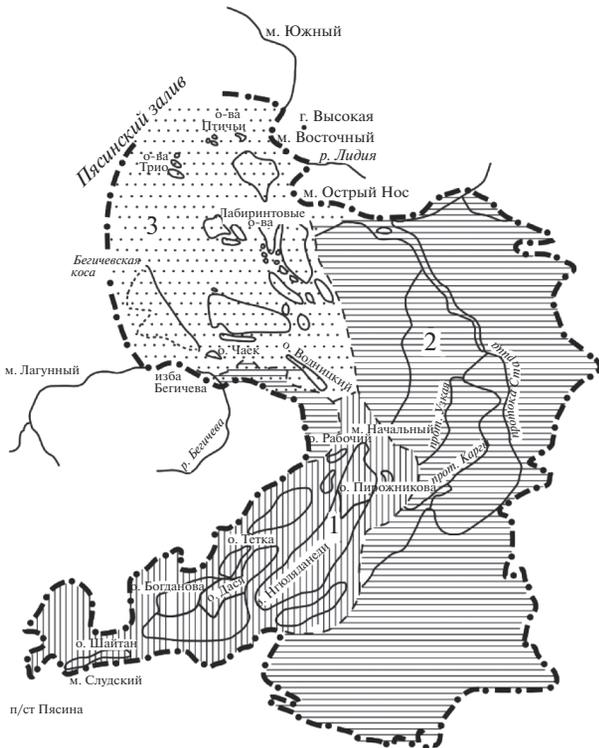


Рис. 2. Районирование дельты р. Пясины. 1 – район внутренней дельты, 2 – район сплоченного пойменного массива восточной части дельты, 3 – район внешней дельты выдвигания.

50–70 м), покрытые ивовыми кустарничковыми зарослями. Прирусловые валы, расположенные сериями на островах Тётка и Волгушева, придают пойме гривистый характер и свидетельствуют о русловых переформированиях во внутренней дельте. В районе сплоченного пойменного массива восточной части дельты русловые валы единичны и располагаются вдоль наиболее крупной протоки – Старицы. Во внешней дельте их вообще нет.

Самая высокая пойменная поверхность – пойма 4 в районе внутренней дельты – представлена небольшими эрозионными останцами, окруженными массивами более низких пойм. В восточной области дельты останцы высокой поймы значи-

тельнее по площади. Эта поверхность резко отличается от всех более низких пойм, за исключением своей высоты (до 6.5 м), развитием тундровых комплексов растительности (мохово-злаково-разнотравная с большим количеством кустарничковой ивы) на кочкарном микрорельефе, многочисленными норами леммингов. Она никогда не заливается полыми, нагонными, приливными водами. Это надпойменная терраса, но лишь для удобства сравнения высот террас, определенных предшествующими исследователями (первая терраса – 10-метровая), она названа высокой древней поймой. В отложениях древней поймы присутствуют откатанная галька, линзы и прослойки льда. Среди кварцевых песков в разрезе поймы 4 на о. Пирожникова присутствуют линзовидные прослойки растительного детрита, датировка возраста которых показала 3570 ± 60 радиоуглеродных лет (ЛУ-1918). Спорово-пыльцевые спектры аналогичны таковым из отложенной поймы 3, где присутствует много заносной пыльцы древесных. Под переслаиванием песков и растительных остатков в подстилающих песках много пыльцы вересковых видов (до 50% от всех трав). Их присутствие может свидетельствовать о занятии песчаных осушек вереском при понижении уровня моря.

Первая терраса высотой ~10 м в дельте встречается лишь в виде эрозионных останцов на островах Богданова, Дядя, Пирожникова. Они сложены кварцевыми, мелкозернистыми песками серо-желтого цвета. Склоны и поверхность останцов также заняты тундровой растительностью. Первая терраса прослеживается и на склонах долины р. Пясины (табл. 1). Радиоуглеродная датировка торфа, залегающего на глубине 1 м от поверхности террасы, расположенной в устье р. Бегичева (к Ю от Бегичевской косы) (рис. 2), показала возраст 6810 ± 60 л. н. (ЛУ-1920).

Вторая терраса среди пойменных массивов дельты встречается лишь на о. Шайтан (рис. 2). Здесь она эрозионная – выработана в коренных породах, имеет высоту до 21 м и представляет собой эрозионный останец. Еще один останец второй террасы высотой 17–18 м расположен в районе сплоченного пойменного массива восточной части дельты. Вторая терраса, сложенная песками

Таблица 1. Высота пойменных и террасовых поверхностей в дельте р. Пясины

| Район дельты | Высота поверхностей над уровнем моря, м | | | | | | |
|--------------|---|---------|---------|---------|---------|----------------|----------------|
| | побочни, осушки | пойма 1 | пойма 2 | пойма 3 | пойма 4 | первая терраса | вторая терраса |
| I внутренний | 0–1 | 1.5–1.7 | 1.5–3 | 3–5.5 | 6.5 | 10–15 | 21 |
| II восточный | 0–1 | 1.7–2.5 | 2.7–5 | 6 | 10–13 | 17–18 | – |
| III внешний | 0–1 | 1–2 | 2.5–3.5 | – | – | – | – |



Рис. 3. Геоморфологическая карта дельты р. Пясины. 1 – поймы низкая (до 1.5–1.7 м) и средняя (до 3 м); 2 – высокая древняя пойма высотой до 5.3 м, возрастом 2680 радиоуглеродных лет; 3 – первая терраса высотой до 6.5 м, возрастом 3570 радиоуглеродных лет; 4 – 2-я терраса высотой 10 м возрастом 6800 радиоуглеродных лет; 5 – 3-я терраса высотой 17–21 м; 6 – 4-я терраса высотой ~30 м; 7 – морские террасы высотой 31–35, 44–45 м; 8 – склоны; 9 – гряды, сложенные коренными породами; 10 – границы установленные; 11 – границы установленные приблизительно; 12 – подводная формирующаяся пойма.

и расположенная на восточном склоне долины Пясины – в устье р. Кейгараги (левый приток Пясины на приустьевом участке), имеет высоту 20 м и, по данным спорово-пыльцевого анализа, относится к каргинскому возрасту.

Более высоких поверхностей террас в дельте р. Пясины нет. На склонах долины террасы встречены до высот 44–45 м. Кроме того, на берегах южной части Пясинского залива в зоне дельты выделяются следующие уровни: 5–6 м (устье р. Бегичева), 7–8 м (о. Фарватерный), 6 м (м. Восточный), 5 м (острова Птичьи), 13–14 м (м. Острый Нос), 15–16 м (о. Фарватерный), 15–18, 31–35 м (склоны горы Высокой). Это морские террасы.

Строение дельты р. Пясины указывает на то, что обычные для средних участков рек способы объяснения формирования поймы к ним неприменимы. Основными причинами формирования

пойм считаются подмыв рекой берегов и медленная миграция меандров вниз по течению, что влечет за собой возникновение многочисленных ветров блуждания потоков и береговых валов. Для дельты р. Пясины такие образования не характерны. Существование в дельте восточного сплочения пойменных массивов с узкими, слабо меандрирующими протоками свидетельствует о незначительности процессов переформирования рельефа в результате действия речных факторов. Несомненным остается лишь тот факт, что все поймы в дельте сложены в основном наносами, принесенными реками. Однако процессы осадконакопления и формирования рельефа в устьях полностью контролируются таким важнейшим фактором, как изменение базиса эрозии. Так, в разрезе осадков, слагающих пойму 3, вскрываются песчаные и алевритовые отложения с косою слоистостью типа “елочка” (направление серий

слоек противоположно), что указывает на существование течений речных и противоположных, вызывавшихся периодическими и непериодическими колебаниями уровня моря. В осадках той же высокой поймы имеют место галечники (о. Чаек), сформированные вдольбереговыми потоками наносов на морском краю дельты, в отложениях содержатся солонатоводные виды диатомовых водорослей.

Прямые геоморфологические признаки влияния моря на процессы дельтообразования следующие: 1 – дельта представляет собой заполненные осадками морские заливы или эстуарии; 2 – останцы древних террас и пойм среди молодых пойменных массивов являются свидетелями чередования этапов врезки и аккумуляции, вызванного колебаниями высотного положения базиса эрозии; 3 – острова и даже одни и те же поверхности пойм и террас сложены разновозрастными осадками, которые накапливались на разных этапах развития дельты при повышенном стоянии уровня моря, размывались, исчезали или фрагментарно сохранялись на этапах размыва при пониженном стоянии базиса эрозии.

Исходя из приведенных признаков модель развития дельты р. Пясины определяется следующими процессами. При подъеме уровня моря площадь дельты полностью или частично замещается мелководными водоемами, в которых аккумулируются значительные массы осадков благодаря твердому стоку рек и вдольбереговым потокам наносов. Такие процессы в настоящее время развиты на приустьевом взморье – на акватории Пясинского залива. В осадконакоплении важную роль играют органические осадки, которые представлены смытыми с поверхности тундры и переотложенными из более древних геологических тел островами остатками растительности. Они накапливаются на дне мелководных заливов в условиях слабой проточности последних. Режим таких бассейнов определяется действием морских и речных факторов, преобладание которых обусловлено открытостью бассейна и высотой базиса эрозии. В результате последующей регрессии моря подводная дельта превращается в участок суши, и дальнейшее наращивание ее в высоту происходит главным образом под влиянием работы реки. Е.В. Шанцер считал, что только самые верхние, надводные горизонты дельтовых осадков можно отнести к аллювию [17]. Во время регрессии основным процессом в развитии дельты становится размыв с формированием протоков в результате глубинной и боковой эрозии. На этом этапе возникают типичные пойменные формы рельефа – русловые валы, старицы, в осадках чередуются пойменные, русловые, старичные фации аллювия. Интенсивность размыва определяется многими факторами: стоком воды, наносов и тепла, устойчивостью многолетнемерзлых пород

и т. д. Важным фактором выступает время – продолжительность размыва и регрессии морского бассейна.

Наиболее древняя поверхность в современной дельте р. Пясины – поверхность первой надпойменной террасы, сохранившейся в виде останцов на островах Богданова и Дядя. Исходя из имеющейся радиоуглеродной датировки растительных остатков (6810 радиоуглеродных лет), залегающих в верхней части разреза осадков, слагающих первую террасу в устье р. Бегичева, на абсолютной высоте 8–9 м, можно предположить, что их формирование происходило на этапе повышенного стояния уровня моря. Более низкая поверхность поймы 4 в дельте р. Пясины, сохранившаяся лишь в виде эрозионных останцов на о. Пирожникова, датируется по растительным остаткам возрастом 3570 + 60 л. н. (ЛУ-1918). Органический материал залегает в верхней части разреза осадков на абсолютной высоте ~5.5 м. Затем последовал размыв отложений, уничтожение отложенного ранее осадка и массивов островов. Останцовый характер поймы 4 свидетельствует о ее значительном размыве, скорее всего в течение нескольких этапов размыва при пониженном уровне моря.

Осадки следующей поверхности – поймы 3 – прицелились к останцам поймы 4 и первой террасы в результате смены этапа размыва накоплением эстуарных осадков при повышении уровня моря 3000–2700 л. н. Формирование поймы 3 происходило при очередном понижении уровня моря, начавшемся ~2700 л. н. В то время происходило заложение основных современных протоков во внутренней дельте р. Пясины и мелких протоков в восточном пойменном массиве. Основной сток реки сконцентрировался в западной части дельты по кратчайшему пути к морю. Этап повышенного стояния моря фиксируется двумя датировками растительных остатков: 1340 (о. Богданова) и 940 (протока Старица) радиоуглеродных лет. Трансгрессивно-регрессивное развитие дельты р. Пясины проиллюстрировано схемой на рис. 4.

В настоящее время в дельте р. Пясины поймы 3 и 4 не затопляются, происходит размыв их берегов. Во внешней дельте, наряду с размывом берегов высокой поймы и расширением протоков между островами, происходит интенсивное наращивание субаквальной дельты за счет переотложения наносов, образующихся в результате размыва островов, и наносов, поступающих со стоком реки и с вдольбереговыми течениями. Сочетание разнонаправленных процессов во внешней дельте – интенсивное накопление подводной дельты и в то же время размыв древних островов – может свидетельствовать о повышении уровня в Пясинском заливе, что позволяет свободно развиваться процессам абразии и эрозии, несмотря на тенденции роста отмелей между островами.

Дельта р. Хатанги

Дельта р. Хатанги, к которой более подходит термин “эстуарий”, представляет собой довольно узкую долину шириной от 7.5 до 15 км между бровками. Геоморфологические границы устья Хатанги – субаквальный морской край устьевого бара и вершина эстуария в месте слияния рек Хеты и Котуя. Длина дельты р. Хатанги с баром ~240 км. По геоморфологическим признакам в эстуарии Хатанги выделяются сверху вниз 4 участка (рис. 5): I – от слияния Котуя и Хеты до устьев Новой и Большой – участок сплошного пойменного массива, занимающего левую часть дна долины; II – от устья р. Большой до устья р. Малая Балахня – участок многочисленных пойменных островов; III – от устья р. Малая Балахня до о. Последнего в районе устья р. Попигай – участок малых пойменных островов; IV – от о. Последнего до субаквального морского края Хатангского бара – безостровный участок [5]. Собственно эстуарий или устьевой участок – 2 последних отрезка долины, верхние участки развиваются в режиме реки, но на недавних прошлых этапах при ином положении уровня приемного водоема он принадлежали эстуарию.

В долине почти нет высоких террас. Лишь на двух нижних участках эстуария на правом склоне долины выделяются аллювиально-морские террасы шириной до 1–2 км и высотой ~15 м. Эрозионно-абразионные уступы и наклонные узкие площадки террас высотой 12–17 м имеют место на нескольких участках, например на левом склоне долины у бывшего пос. Старорыбного и на правом склоне – в устье р. Попигай (рис. 6). Устьевые острова сложены песчано-алевритовым материалом со значительным количеством неразложившегося аллохтонного растительного детрита. Для понимания сути происходящих в дельте явлений необходимо показать строение толщи осадков, слагающих в различных частях эстуария острова: Солнце-Ары, Агалыктах-Ары, Попигай-Ары, сопку Барат (рис. 5).

Остров Солнце-Ары располагается на втором выделенном участке дельты. В уступе размыва западного берега острова высотой 3.5 м вскрываются сверху вниз следующие отложения:

0–0.6 м – серый песчаный алеврит с редкими слоями растительного детрита и ожелезнением слоев, определяющимся по ржавому цвету породы;

0.6–1.5 м – “слоеный пирог”, состоящий из прослоев растительного детрита и серого алеврита толщиной по несколько сантиметров с преобладанием растительного детрита;

1.5–2 м – то же, но с преобладанием алеврита;

2–2.8 м – сплошной растительный детрит с малым количеством минеральной части, слоистость четкая горизонтальная;

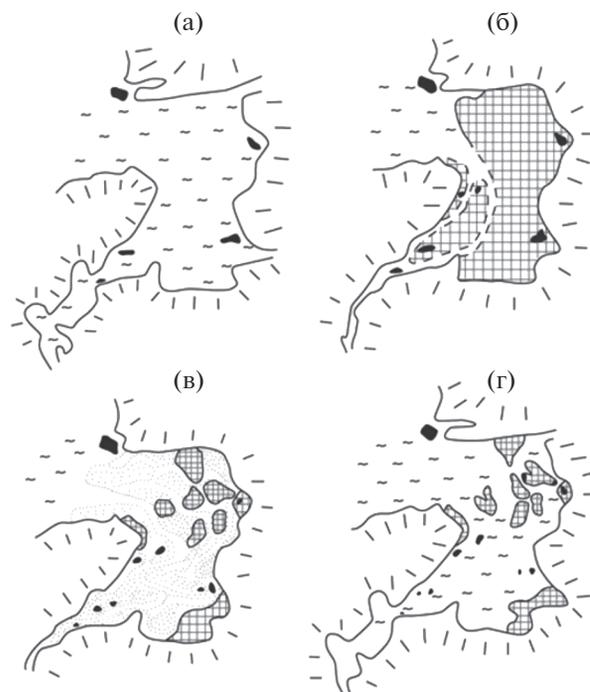


Рис. 4. Этапы развития дельты р. Пясины: а – ингрессия моря с максимумом ~4 тыс. л. н., б – начало регрессии моря ~3.5 тыс. л. н., в – максимальная фаза регрессии ~3 тыс. л. н., г – ингрессия ~2.8 тыс. л. н.

2.8–3.1 м – серый с сизоватым оттенком песок с растительными остатками.

Из стенки обнажения 663 отобраны 7 образцов, анализ которых позволил Д.П. Пономарёвой составить спорово-пыльцевую диаграмму (рис. 7). 2 образца растительного детрита датированы. Радиоуглеродный возраст органики с глубины 0.7 м составил 640 ± 60 лет (ЛУ-2386), с глубины 2.5 м – 1340 ± 50 лет (ЛУ-2385). Первый спорово-пыльцевой комплекс (спк) представлен образцом 7 из аллювиальных песков, который содержит лишь единичные пыльцевые зерна. Второй спк представлен образцами 5 и 6. В нем пыльца древесных растений составляет 42–45% всей пыльцы. Среди деревьев преобладают мелколиственные породы. У травянистых растений доминируют осоки (до 80%). Третий спк представлен образцами 3 и 4, в которых древесные составляют 30–40%, осоки достигают максимума (до 88% среди трав), совершенно исчезает пыльца полевой. Четвертый спк образца 2 характеризуется максимумом (до 60%) древесных, но минимумом содержания пыльцы лиственницы. К тому же пыльца осок находится на минимуме при возросшей доли пыльцы злаков. Пятый спк, представленный образцом 1, отличается возрастанием доли хвойных пород деревьев и лиственницы с уменьшением доли березы

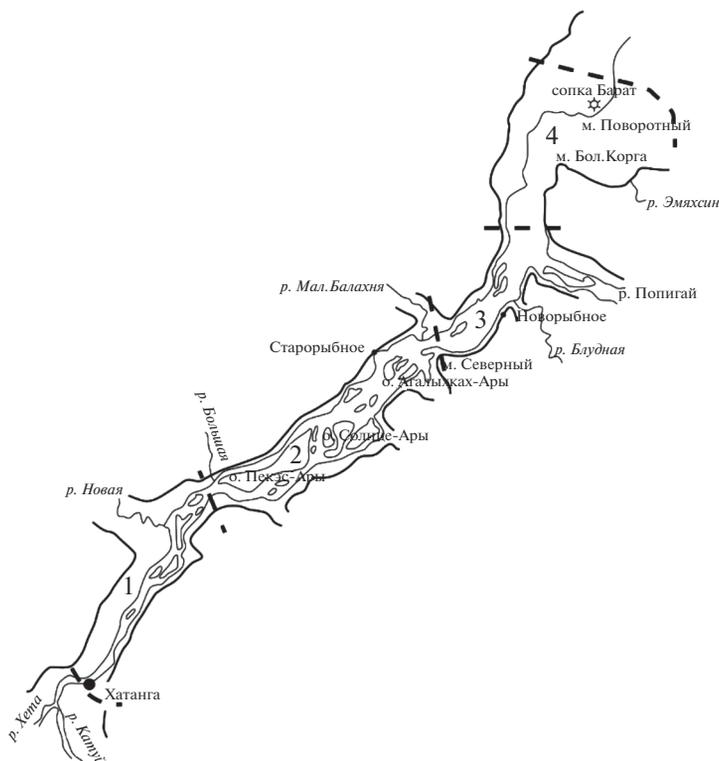


Рис. 5. Районирование эстуария р. Хатанги. 1–4 – районы дельты р. Хатанги.

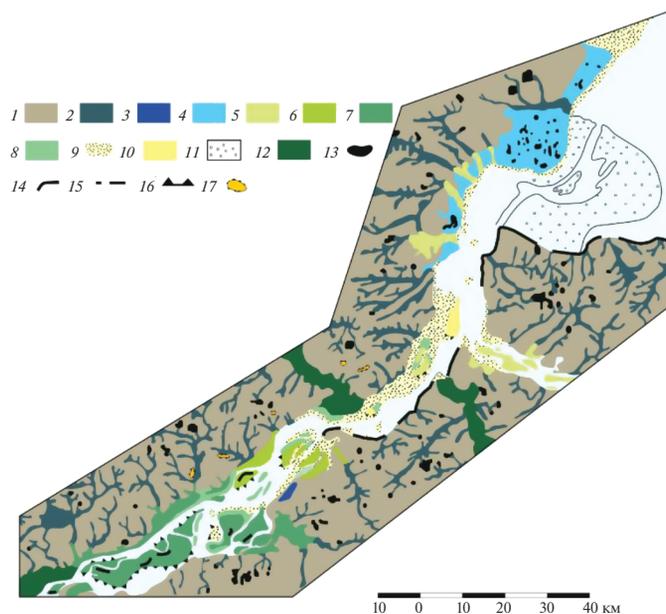


Рис. 6. Геоморфологическая карта дельты р. Хатанги. 1 – склоны; 2 – нетеррасированные долины; 3 – абразионно-морская терраса высотой 15 м; 4 – аллювиально морская позднеголоценовая (4–3 тыс. радиоуглеродных лет) терраса высотой 8–10 м; 5 – пойма высотой 3.5 м, возрастом 3.5 тыс. – 0 лет; 6 – пойма высотой 4 м, возрастом 2.5–0 лет; 7 – пойма высотой 6 м, возрастом 1.45 тыс. – 0 лет; 8 – низкая пойма высотой 1–1.5 м, возрастом 0.6 тыс. – 0 лет; 9 – отмели; 10 – отмели, обнажающиеся в межень; 11 – баровая отмель; 12 – пойма крупных притоков Хатанги высотой 4–5 м, возрастом 7 тыс. – 0 лет; 13 – особо выдающиеся термокарстовые котловины; 14 – береговой вал; 15 – эрозионно-абразионный уступ; 16 – термоэрозионный уступ; 17 – эрозионный останец.

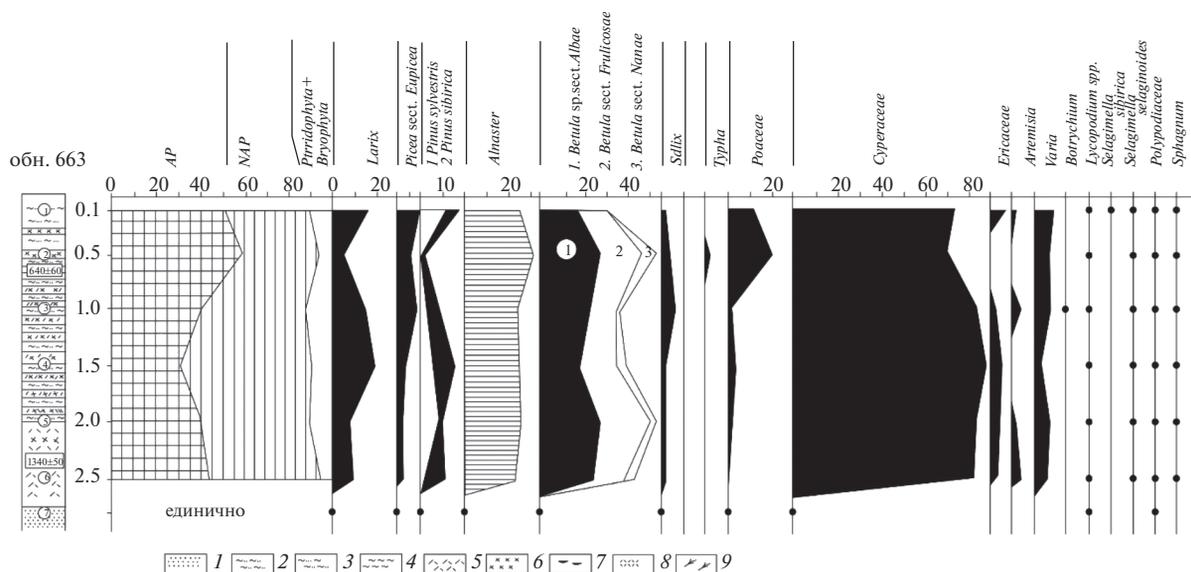


Рис. 7. Разрез и спорово-пыльцевая диаграмма уступа размыта о. Солнце-Ары. 1 – песок, 2 – алевритовый песок, 3 – песчаный алеврит, 4 – глина, 5 – слоенка, 6 – растительные остатки, 7 – линзы растительного детрита, 8 – растительные остатки, 9 – ветки кустарников.

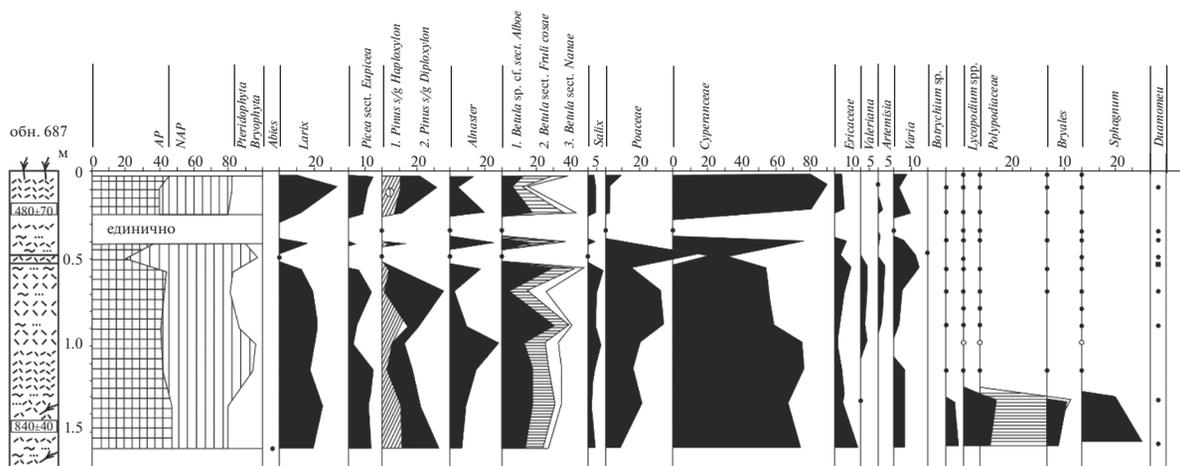


Рис. 8. Разрез и спорово-пыльцевая диаграмма обнажения № 687, о. Агалыктах-Ары. Условные обозначения – на рис. 7.

и новым возрастием доли осок среди травянистых растений.

Остров Агалыктах-Ары расположен у левого берега реки близ заброшенного пос. Старорыбного. Блок берега здесь как ножом отрезан в результате откалывания участка берега по ледяной жиле во время половодья, в результате чего образовалось обнажение (№ 687) органо-минеральных отложений, слагающих остров. Сверху вниз здесь вскрываются следующие отложения (рис. 8):

0–0.2 м – дернина;

0.2–0.31 м – растительные остатки, в которых в верхней части есть немного минеральных частиц (алеваитовый песок) и много волокон стволков кустарников, а в нижней части осадок целиком сложен хорошо сохранившимися мхами бурого цвета;

0.31–0.48 м – пачка растительных остатков с алевритом, благодаря которому отложения имеют серый цвет;

0.48–0.52 м – чистый растительный материал, преимущественно мох буровато-рыжего цвета с включениями растительного детрита;

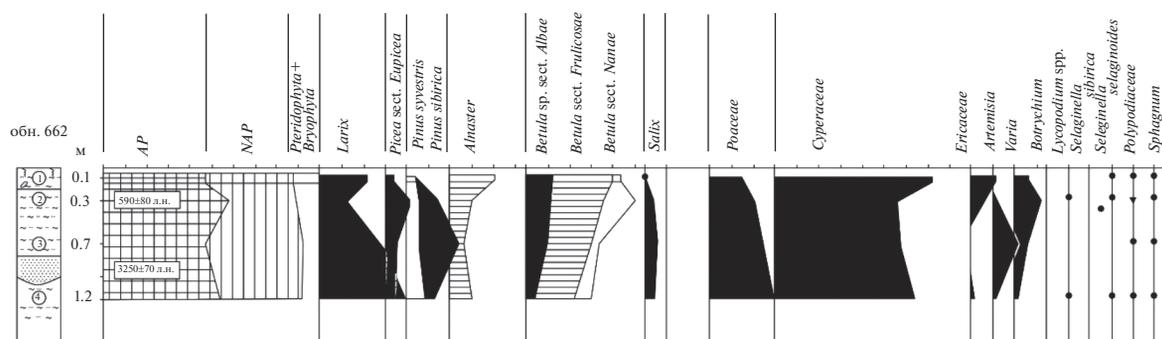


Рис. 9. Разрез и спорово-пыльцевая диаграмма обнажения № 662, о. Попигай-Ары. Условные обозначения – на рис. 7.

0.52–0.61 м – растительные остатки с алевритом серого цвета;

0.61–0.91 м – пачка переслаивания рыжих растительных остатков и тех же остатков с содержанием серого алеврита (5 слоев мха толщиной от 2 до 5 см и 4 слоя растительных остатков с алевритом толщиной по 2–3 см);

0.91–1.11 м – то же переслаивание двух серых прослоев по 5–7 см толщиной и 2 рыжих прослоя по 3 см толщиной;

1.11–1.46 м – растительные остатки с алевритом, но мха все меньше вниз, попадают ветки кустарников, на глубине 1.4 м – прослой песка толщиной 1 см;

1.46–1.7 м – песчаный алеврит серый, льдистый, содержащий растительный детрит и обломки веток кустарников, в алеврите выработана ниша размыва глубиной до 0.5 м;

1.7–1.8 м – осыпь до уреза воды. Из обнажения отобраны 16 образцов, по которым выполнен анализ радиоуглеродный, спорово-пыльцевой и состава растительности. Радиоуглеродный возраст растительности с горизонта 0.2–0.23 м составил 480 ± 70 лет (ЛУ-2536), с горизонта 1.42–1.45 м – 840 ± 40 лет (ЛУ-2598). (Растительные остатки определены В.Н. Козловой, Ленгипроторф).

Определены следующие виды растений с глубины 0.25–0.3 м: *Eriophorum polystachyon* – 40%, *Andromeda polifolia* – 25, *Mriglochium palustris* – 15, *Drepanocladus vernicosus* – 10, *Sphagnum august* – 5, *Sphagnum magellan* – 5%.

С глубины 1.11–1.46 м определены:

Drepanocladus vernicosus – 15%, *Hypnum pratense* – 10, *Scorpidium* – 30, *Drepanocladus licopodiades* – 30, *Meesia* – 5, *Calamagostis* – 10%.

Спорово-пыльцевая диаграмма (составленная Д.П. Пономарёвой) представлена на рис. 8.

Три описанных и опробованных обнажения органико-минеральных осадков, близких по местонахождению на одном о. Агалыктах-Ары, показывают разный радиоуглеродный возраст осадков (с глубины 0.2 м от поверхности – 480 лет, 0.6 м –

460 лет, 1.45 м – 840 лет, 1.9 м – 4480 лет, 2.15 м – 1520 лет, 2.4 м – 2510 лет), что связано с реальной историей развития острова, несмотря на инверсии возраста. Накопившиеся в условиях повышенного стояния уровня водоема органико-минеральные отложения впоследствии при падении уровня воды были эродированы, и на их место снова откладывались более молодые осадки, которые размываются в настоящее время. Острова, таким образом, сложены одинаковыми толщами органико-минеральных осадков разного возраста; т. е. периоды их накопления в условиях высокого стояния уровня воды Хатангского залива имели место 460–850, 1520–2510, 4500 л. н., периоды пониженного стояния уровня водоема и размыва осадков приходится на время между этими датами. Полученные радиоуглеродным методом датировки приблизительны, так как более древний размыв органический материал частично перекладывался во вновь формировавшиеся осадки на следующем этапе накопления аллювиально-морских отложений эстуария р. Хатанги. Но периодичность процесса накопления органико-минеральных осадков очевидна.

Остров Попигай-Ары находится напротив устья р. Попигай, впадающей справа в р. Хатангу. В устье размыва его юго-восточного берега высотой 1.7 м (обнажение № 662) сверху вниз вскрываются следующие отложения (рис. 9):

0–0.25 м – песчано-алевоитовый слой с обломками кустарников;

0.25–0.75 м – переслаивание растительного детрита и алевритов с преобладанием последних;

0.75–0.85 м – линзовидный прослой песка;

0.85–1.2 м – песчаный алеврит мерзлый с линзами растительного детрита и льда, текстура тонкошлифовая.

Из отложений взяты образцы на спорово-пыльцевой и радиоуглеродный анализы. Радиоуглеродный возраст отложений с глубины 0.3 м составил 590 ± 80 лет (ЛУ-2382), с глубины 0.7 м – 3250 ± 70 лет (ЛУ-2383). Спорово-пыльцевой ана-

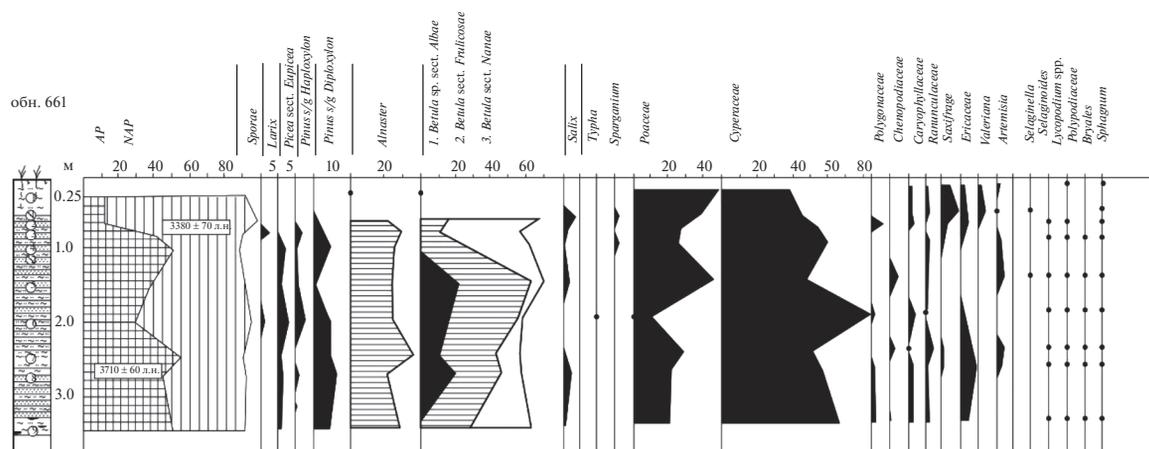


Рис. 10. Спорово-пыльцевая диаграмма обнажения № 661, сопки Барат. Условные обозначения — на рис. 7.

лиз (рис. 9) (проведенный Д.П. Пономарёвой) определил 4 спк.

Первый спк образца 4 характерен большим количеством (55%) древесных растений, среди которых доминирует лиственница (до 40%), береза (32%). Среди трав доминируют осоки и злаки. Второй спк представлен образцом 3, и в нем древесных пород — 47%, доля лиственницы уменьшается, среди трав доминируют осоки и злаки. Третий спк образца 2 характеризуется пиком пыльцы древесных растений (58%) с уменьшением доли лиственницы и возрастанием доли березы и ольховника. Несмотря на высокую долю в спк пыльцы древесных растений, минимум пыльцы лиственницы, вероятнее всего, связан с похолоданием и затоплением островов. Такое же соотношение наблюдалось в разрезе о. Солнце-Ары — в спк 3. При этом и возраст этого события одинаков по обоим разрезам — до 590 радиоуглеродных лет. Четвертый спк образца 1 после рубежа 590 радиоуглеродных лет характеризуется подъемом численности пыльцы лиственницы, снижением количества пыльцы ивы и новым доминированием осок среди травянистых растений.

Сопка Барат, расположенная на юго-западном побережье Хатангского залива (рис. 5), — хороший ориентир среди плоского рельефа побережья залива, имеет относительную высоту 7 м или 11.2 м над современным уровнем моря (у. м.). Это булгунья — бугор пучения, при своем воздымании и размыве водами озера обнаживший свое внутреннее строение аллювиально-морской равнины. Сверху вниз в нем вскрываются следующие отложения (рис. 10):

0–0.5 м — дернина — алевритовый песок с корнями современных растений;

0.5–2.4 м — “слоеный пирог” из серого алеврита и прослоев растительного детрита толщиной до 2 см (обычно меньше); иногда на поверхности

пласта слежавшегося растительного детрита, похожего на листы размокшего картона, наблюдаются тонкие слойки чистого, кварцевого, среднезернистого, хорошо сортированного и окатанного песка; прослойки толщиной до 2–3 см, по всему разрезу их много;

2.4–2.6 м — сизовато-серый глинистый алеврит с небольшим количеством растительного детрита;

2.6–3.3 м — “слоеный пирог” аналогичный слою 2;

3.3–3.6 м — горизонтально слоистые алевриты и песчаные алевриты сизовато-серого цвета с большим количеством льда в виде линз-широв и прослоев толщиной до 4 см; лед прозрачный, пузырчатый; пузырьки размером 1–5 мм ориентированы вертикально (в прослое толщиной 4 см).

Нижняя часть обнажения высотой 1.5 м закрыта снежником, обрывающимся в озеро. Из обнажения взяты образцы, по которым Д.П. Пономарёвой выполнен спорово-пыльцевой анализ (рис. 10). Растительный детрит из слоенки с глубины 0.8 м (10.2 м н. у. м.) имеет радиоуглеродный возраст 3380 ± 70 лет (ЛУ-2378), с глубины 2.8 м (8.6 м н. у. м.) — 3710 ± 90 лет (ЛУ-2380).

На спорово-пыльцевой диаграмме выделяются 5 комплексов, характеризующих изменения в составе растительности во время формирования осадков (снизу вверх). Первый комплекс представлен образцом 1, в котором доля пыльцы древесных и травянистых растений составляет по 45%, 10% приходится на споры низших растений. Среди древесных пород преобладает береза, а среди травянистых — осоковые и злаки. Второй комплекс образцов 7 и 8 отмечен максимумом древесных пород (55%) при господстве березы и увеличении доли ольховника. Радиоуглеродный возраст осадков составляет 3710 лет. Для третьего спк образцов 5 и 6 характерно сокращение дре-

весных пород до 28% и господство осок среди трав. Среди древесных растений максимальное развитие получает кустарниковая береза. В четвертом спк образцов 3 и 4 наблюдается второй пик древесных (до 50%), появляется пыльца лиственницы, не выдерживающая дальнего переноса и свидетельствующая о продвижении границы леса по долине р. Хатанги к С. Датировка этого события – 3380 радиоуглеродных лет. Пятый спк образцов 1 и 2 содержит только 10% пыльцы древесных растений, среди травянистых растений впервые преобладают злаки, осок становится меньше. Это явные признаки похолодания климата и уменьшения обводненности, что для эстуарных отложений означает понижение уровня воды в эстуарии-море.

Толща органо-минеральных осадков сформировала первую аллювиально-морскую террасу высотой 8–10 м, вскрываемую в обнажении сопки Барат. Толща формировалась быстро во время повышенного стояния уровня моря. 2 м этих осадков в верхней пачке отложений, вскрытых в бугре пучения, накапливались в период с 3800 до 3400 радиоуглеродных лет. В средней части долины эстуария сохранился лишь один останец этой террасы высотой до 9 м. Здесь толщина пластов этого “слоеного пирога” 1–1.5 м, и они слагают пойменные острова высотой до 6–7 м, а в устье р. Котуй мощность органо-минеральных осадков вновь возрастает до 2–3 м. До тех пор, пока не были исследованы эти осадки, они назывались торфами. В действительности это особый тип слоистого осадка, формирующегося при быстром осадконакоплении органо-минеральной массы в результате подпора со стороны моря в бассейне с замедленным течением [10]. Важным фактором формирования такого типа осадков, названных слоенкой [6], было их быстрое сингенетическое промерзание. Датирование кровли и подошвы пластов этих осадков, залегающих на русловых аллювиальных песках, позволило проследить ход трансгрессий и регрессий. Русловый режим накопления осадков господствовал в эстуарии в районе морского края дельты у сопки Барат до 3.8 тыс. л. н.; на III участке эстуария в районе о. Попигай-Ары – до 3.6 тыс. л. н.; на II участке в районе о. Агалыктах-Ары – до 2.5 тыс. л. н.; в районе о. Солнце-Ары – до 1.5 тыс. л. н. Сверху на этих осадках залегают органо-минеральные отложения, накапливавшиеся на этапе подъема уровня залива-эстуария. И этот подъем уровня происходил снизу вверх по течению р. Хатанги, что подтвердили приведенные определения возраста осадков.

Также по датировкам слоенки прослежено и падение уровня бассейна после трансгрессии, имевшей место ~900 л. н. Таким возрастом датирована аллювиально-морская терраса высотой 3–4 м, состоящая из бревен плавника древесины

и песка на южном берегу Хатангского залива, на м. Большая Корга. Она была свидетелем подъема уровня моря в то время на ≥ 3 м. Падение уровня приемного водоема – Хатангского залива – началось сверху. Возраст кровли слоенки, накопившейся при повышенном стоянии уровня моря на о. Солнце-Ары на II участке эстуария, составляет 600 лет; на о. Агалыктах-Ары на этом же участке эстуария, но ниже по течению – 480 лет. На одном из островов III участка ниже по течению возраст кровли этих отложений 260 лет. За время падения уровня происходили врезание русел, разрушение пойм и образование мелких островов. Разновозрастность поверхности одной и той же поймы объясняется различным временем ее выхода из-под воды в результате снижения уровня приемного водоема. Различный возраст основания видимого разреза осадков, слагающих пойму, объясняется различным временем затопления эстуария при повышениях уровня моря, из чего следует, что колебания уровня моря имеют решающее значение для жизни и строения эстуариев.

Дельта р. Лены

Вышеописанные закономерности строения дельты арктического побережья России наиболее ярко запечатлены в террасах дельты р. Лены [6, 9] (рис. 11). Первая терраса высотой 10–12 м в вершине дельты сложена в основном слоенкой и понижается к морю до 0.5–1.0 м. Но она не является единым геологическим целым. Одна и та же терраса имеет отложения разного возраста. Более древние ядра облекаются молодыми прислоненными толщами, которые образовывались на различных этапах заполнения эстуариев дельты при повышенном стоянии уровня моря. Несмотря на обманчивость облика единой лопасти, дельта – не единый конус выдвигения. Она объединила в себе отдельные эстуарии после разрушения перемычек между ними. В.Н. Коротазев также предполагал, что отдельные протоки дельты развивались по типу заполняющихся эстуариев [8]. Наиболее древние отложения возраста ~8.5 тыс. лет – у первой террасы в северо-западной части дельты южнее о. Арга-Муора-Сисе, который представляет не дельту, а морские отложения, поднятые в результате тектонических движений до 30 м над современным уровнем моря. Отложения массива дельтовых островов Оленёвской и Арынской проток формировались ~7 тыс. л. н. Туматский конус выноса имеет возраст 2.5–3 тыс. лет. Сардахско-Трофимовский конус выноса формировался, начиная с рубежа 4 тыс. л. н. Острова Быковской протоки – самые молодые в дельте, им <1500 лет. Дельтоформирование в течение голоцена смещалось с В на З по мере разрушения рекой и морем массивов ледового комплекса пород, от которых в настоящее время остались лишь

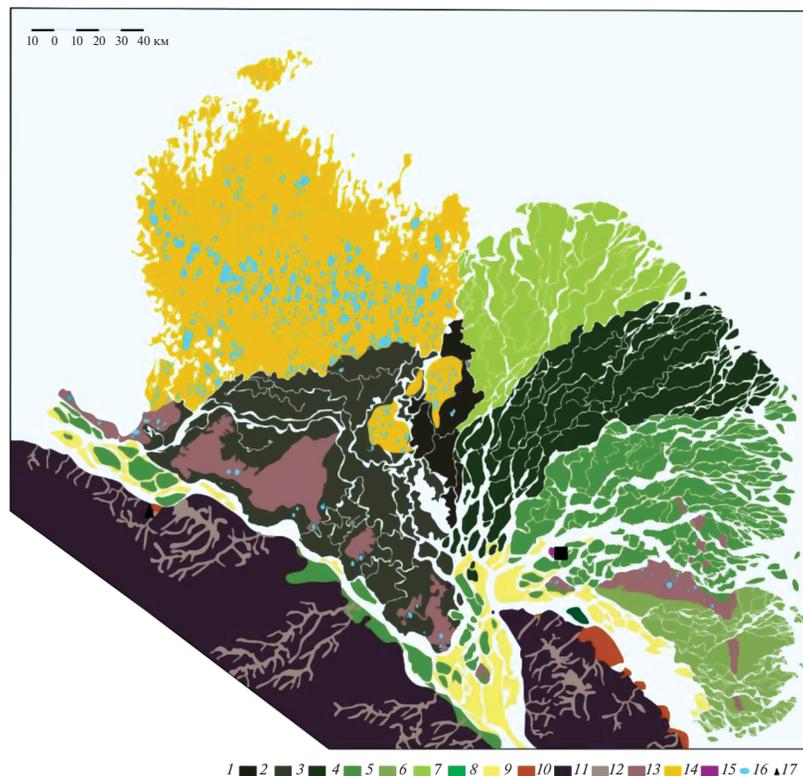


Рис. 11. Геоморфологическая карта дельты р. Лены. Аккумулятивный рельеф, аллювиально-морская терраса возрастом: 1 – 8000 лет; 2 – 6000–4000; 3 – 3000; 4 – 300–2500; 5 – 1500–800; 6 – 1200–500 лет; 7 – терраса о. Чай-Ары высотой 12 м, сложенная грубообломочным русловым аллювием; 8 – пойменная песчаная терраса высотой до 7 м, возрастом 200–0 лет; 9 – конусы выноса отложений талых ледниковых вод возрастом 500–200 лет. Денудационный рельеф: 10 – структурно-денудационный рельеф низкогорий, сложенных дочетвертичными породами; 11 – нетеррасированные долины; 12 – термоденудационная останцовая поверхность высотой до 50 м, сложенная породами ледового комплекса; 13 – останец аллювиально-морской террасы о. Арга-Муора-Сисе; 14 – эрозионно-абразионный останец о. Сардах высотой до 50 м, сложенный породами неогена; 15 – озерные котловины термокарстового происхождения высоких террасовых уровней, заполненные водой. 16 – бассейновая терраса высотой до 30 м, возрастом 136000 лет; 17 – бассейновая терраса высотой 10–15 м, возрастом 48000 лет.

останцы, слабо влияющие на распределение стока. Еще 1500 л. н. перемычка из пород ледового комплекса протягивалась от о. Муостах и Быковского п-ова в зал. Буор-Хая на ССЗ и отклоняла течение реки к С. Устьевая область реки в голоцене представляла собой эстуарии, изолированные останцами ледового комплекса пород и о. Арга-Муора-Сисе, которые и заполнялись осадками на этапах повышенного стояния уровня моря и эродировались при понижении базиса эрозии. На каждом последующем трансгрессивном этапе останцы первой террасы прирастали новыми площадями и слагались более молодыми отложениями. В этом суть формирования дельты р. Лены и всех остальных описанных дельт. А для дельты р. Лены было еще характерно поступательное заполнение эстуариев с В на З из-за поворота земной поверхности, вызывающего поворот течения реки в устье в противоположную сторону от направления стока [4]. Тектонические факторы и постепенное разрушение абразией и эрозией пе-

ремычек, сложенных ледовым комплексом пород, привело к формированию современного облика дельты – псевдоконуса выдвигания.

КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ МОРЯ

По геоморфологическому и геологическому строению дельт можно определить, исходя из предложенной модели их формирования, колебательный характер уровня моря, который и представлен графиками для всех изученных устьевых областей рек на рис. 12. Колебания уровня оз. Таймыр изучены на более длительном отрезке времени конца позднего неоплейстоцена [2], но также тесно связаны с колебаниями уровня моря, так как урез воды современного оз. Таймыр находится на высоте ~5 м н. у. м. Все построения кривых колебаний уровня моря подтверждены при изучении морских террас голоценового возраста. И они, имея одинаковую высоту, также часто сложены морскими отложениями разного возраста [6].

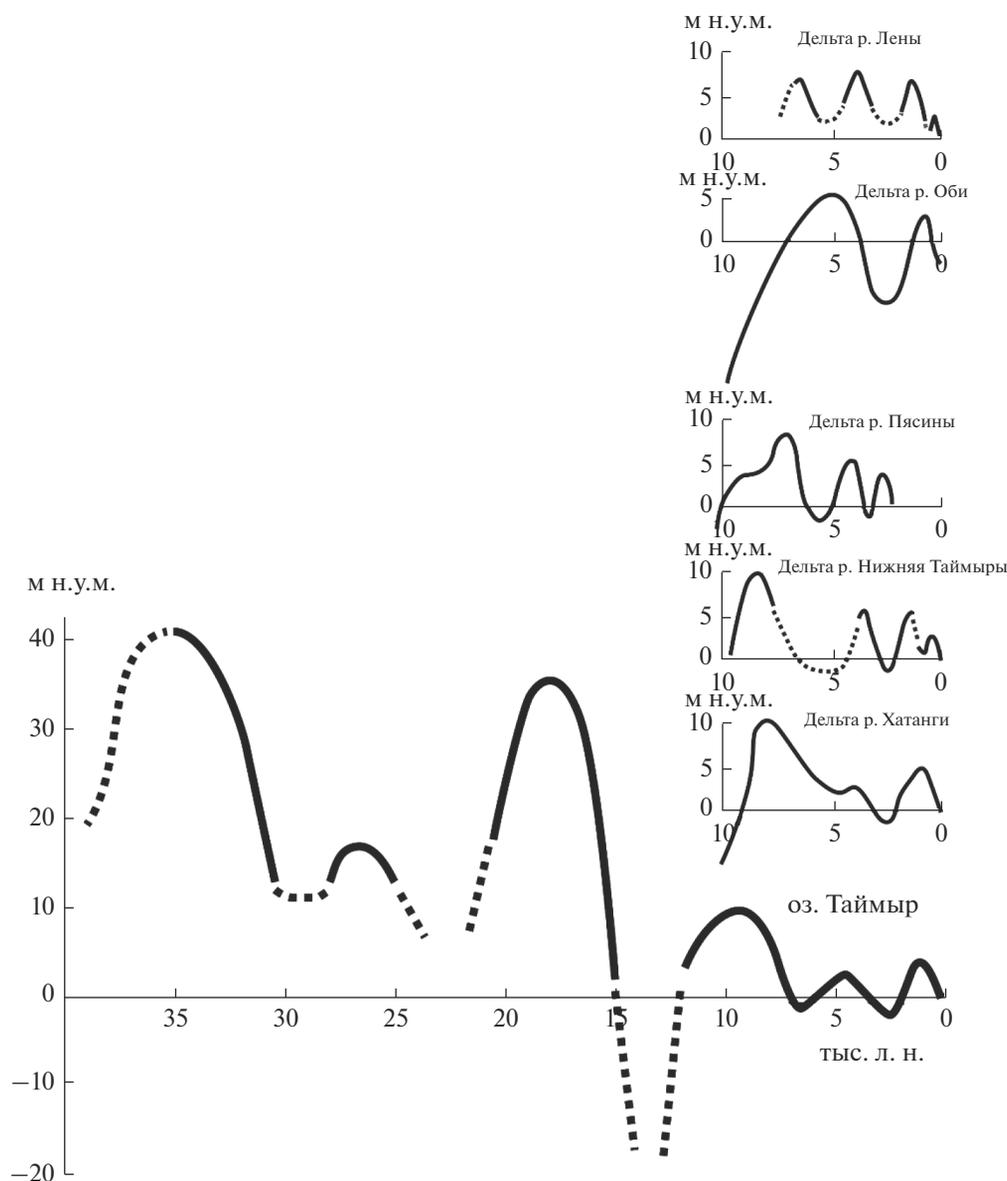


Рис. 12. Колебания уровня моря в устьях арктических рек.

Неполное сходство построенных кривых колебаний уровня моря или их непохожесть могут быть связаны с ошибками датирования отложений. Определение возраста описанных событий имеет множество проблем. И датировки здесь могут иметь не решающее значение, а ориентировочное. Однако схема процесса и несомненный циклический характер колебаний уровня моря и дельтоформирующих процессов очевидны исходя из геологического и геоморфологического строения устьевых областей рек. Из наиболее достоверных изменений уровня моря, произошедших в конце голоцена, следует отметить событие повышенного стояния уровня моря ~2000 л. н., ко-

гда уровень мог подниматься до 10–15 м выше современного [6].

Приведенные закономерности колебаний уровня в устьевых областях арктических рек России показали, что они согласуются с аналогичными данными по побережьям Мирового океана [11].

ВЫВОДЫ

Устьевые области исследованных рек в своем геоморфологическом и геологическом строении хранят летопись колебаний уровня Северного Ледовитого океана в течение сотен и тысяч лет.

В голоцене было, как минимум, 3 эпизода высокого стояния уровня моря, когда он достигал

отметок ≥ 10 м над современным, а устьевые области представляли собой подтопленные эстуарии.

В это время в застойных зонах эстуариев накапливались характерные органо-минеральные отложения (слоенка), обычно, но неправильно называемые торфами. Это отличный диагностический признак как подпора стока рек со стороны моря, так и, в целом, осадконакопления в прибрежной зоне во время морских трансгрессий.

Причины относительно быстрых колебаний уровня морей и крупных внутренних водоемов, которые не совпадают с общепринятыми представлениями, связаны с циклическими колебаниями подземных притока и стока, что доказано для Ладожского озера [3] и, вероятно, характерно для акваторий морей и океанов. Об этом же свидетельствуют исследования современных колебаний уровня арктических морей России [1]; т. е. эвстатические колебания уровня, кроме прочих причин, вызываются циклично действующими геодинамическими процессами.

Авторы очень признательны Ф.А. Романенко и С.Р. Веркуличу, практикантам в экспедиции ААНИИ 1985 г., принявшим активное участие в составлении геоморфологической карты дельты р. Пясины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашик И.М., Макаров А.С., Большиянов Д.Ю. Развитие берегов российской Арктики в связи с колебаниями уровня моря // Метеоспектр. 2010. № 2. С. 23–27.
2. Большиянов Д.Ю. Пассивное оледенение Арктики и Антарктиды. СПб.: ААНИИ, 2006. 296 с.
3. Большиянов Д.Ю. Современные многолетние колебания уровня Ладожского озера и возможные причины ладожской трансгрессии позднего голоцена // Изв. РГО. 2018. Т. 150. Вып. 4. С. 15–31.
4. Большиянов Д.Ю., Аксёнов А.О., Макаров А.С., Лазарева Е.И., Правкин С.А., Черезова А.А., Григорьев М.Н. Геоморфологическое строение и новейшая тектоника дельты р. Лены // Проблемы Арктики и Антарктики. 2019. Т. 65. № 2. С. 186–200.
5. Большиянов Д.Ю., Зимичев В.П., Медкова О.Н. Эстуарно-дельтовая система р. Хатанги // Эстуарно-дельтовые системы России и Китая / Под ред. В.Н. Коротаева, В.Н. Михайлова, Д.Б. Бабича, Ли Цзунсянь, Лю Шугуан. М.: ГЕОС, 2007. С. 163–174.
6. Большиянов Д.Ю., Макаров А.С., Шнайдер В., Штофф Г. Происхождение и развитие дельты реки Лены. СПб.: ААНИИ, 2013. 267 с.
7. Каплин П.А., Селиванов А.О. Изменения уровня морей России и развитие берегов: прошлое, настоящее, будущее. М.: ГЕОС, 1999. 299 с.
8. Коротаев В.Н. Формирование гидрографической сети Ленской дельты в голоцене // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 1984. № 6. С. 39–44.
9. Коротаев В.Н., Михайлов В.Н., Бабич Д.Б., Заец Г.М., Богомолов А.Л. Гидролого-морфологические процессы, динамика гидрографической сети и русловые деформации в дельте р. Лены // Земельные и водные ресурсы, противоэрозионная защита и регулирование русел (Эрозия почв и русловые процессы № 10). М.: Изд-во МГУ, 1990. С. 120–144.
10. Макаров А.С., Большиянов Д.Ю. Органоминеральные отложения как индикатор положений уровня моря в прошлом // Проблемы Арктики и Антарктики. 2017. № 1 (111). С. 46–57.
11. Макаров А.С., Трунин А.А. Изменчивость уровня полярных морей России в голоцене // Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. № 3 (109). С. 101–110.
12. Макеев В.М. Колебания уровня Обской губы в голоцене // Географические и гляциологические исследования в полярных странах. Л.: Гидрометеоздат, 1988. С. 137–146.
13. Макеев В.М., Большиянов Д.Ю., Медкова О.Н., Савин В.Б., Фёдоров Г.Б. Особенности морфологии долины устьевого участка Оби и история формирования современной дельты // Географические и гляциологические исследования в полярных странах. Л.: Гидрометеоздат, 1988. С. 125–137.
14. Маккавеев Н.И., Хмельова Н.В., Заитов И.Р., Лебедева Н.В. // Экспериментальная геоморфология. М.: Изд-во МГУ, 1961. 195 с.
15. Михайлов В.Н. Эти изменчивые речные дельты // Природа. 2002. № 4. С. 43–49.
16. Михайлов В.Н. Добролюбов С.А. Гидрология. М.; Берлин: DirectMedia, 2017. 752 с.
17. Шанцер Е.В. Аллювий равнинных рек умеренного пояса и его значение для познания строения и формирования аллювиальных свит // Тр. Ин-та геологических наук. 1951. Вып. 135. № 55. 275 с.
18. Fairbridge R.W. Eustatic changes in sea level // Phys. Chem. Earth. 1961. 4. P. 99–185.