

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

УДК 551.43 5.126

DOI 10.25587/SVFU.2022.28.4.006

*В.Н. Коротяев¹, О.А. Поморцев^{1,2}*¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия²Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, Якутск, Россия

E-mail: vlaskor@mail.ru

E-mail: olegpomortsev@mail.ru

УСТЬЕВЫЕ СИСТЕМЫ КРУПНЫХ РЕК АРКТИЧЕСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИИ: ТИПИЗАЦИЯ, ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ

Аннотация. Многолетние экспедиционные исследования Географического факультета МГУ в устьевых областях крупных рек арктического побережья Сибири (1969–1996 гг.) и совместные работы МГУ и Института океанологии РАН в устьях рек европейского севера России (2013–2015 гг.) позволили изучить геоморфологическое строение, русловую морфодинамику, гидрологический режим речных дельт, разработать их морфогенетическую классификацию и оценить интенсивность процессов дельтообразования. На основании анализа геолого-геоморфологических данных удалось установить, что современные осадочные и геоморфологические устьевые системы, обширные пространства низменных субаэральных аллювиально-дельтовых равнин и сложная гидрографическая сеть дельтовых водотоков сложилась на арктическом побережье России в заключительную фазу стабилизации послеледниковой трансгрессии океана, когда реки получили возможность активно аккумулировать свои отложения в устьях рек. За последние 5–7 тыс. лет одни реки успели создать разветвленную гидрографическую сеть, заполнить долинны заливы и выдвинуться в открытое море на 150–200 км. Другие реки только начинают формировать наземные дельты и русловую сеть. Во время эволюционного развития устьевых геоморфологических и осадочных систем происходит закономерное усложнение геоморфологического облика дельт от простого аллювиального выступа до многорукавной полигенетической аллювиально-дельтовой равнины и осуществляется потенциальная возможность преобразования дельт выполнения в одну из разновидностей дельт выдвижения на открытом взморье.

Разнообразие структурно-геологического строения шельфа, особенности колебаний уровня окраинных морей Полярного бассейна и пространственно-временная изменчивость эрозионно-аккумулятивной способности рек предопределило многообразие морфогенетических типов устьевых систем арктического побережья России. Наиболее распространены здесь эстуарно-дельтовые и лагунно-дельтовые системы выполнения заливов (Сев. Двина, Печора, Обь, Енисей, Хатанга, Анабар, Яна, Индигирка, Колыма и др.). Реки Оленёк и Лена формируют дельты выдвижения на открытом устьевом взморье. В устьях большинства малых рек на побережье европейского севера России образованы приливные эстуарии, а на выровненных аккумулятивных побережьях севера Сибири и Чукотки – блокированные устья и лагунные системы.

Ключевые слова: устьевая система, дельта, долинный залив, лагуна, дельтообразование, геоморфология.

V.N. Korotaev¹, O.A. Pomortsev^{1,2}

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

E-mail: vlaskor@mail.ru

E-mail: olegpomortsev@mail.ru

MOUTH SYSTEMS OF LARGE RIVERS OF THE ARCTIC COAST OF RUSSIA: TYPIFICATION, GEOMORPHOLOGY AND HISTORY OF FORMATION

Abstract. Long-term expeditionary studies of the Faculty of Geography of Moscow State University in the estuarine areas of large rivers of the Arctic coast of Siberia (1969–1996) and joint work of Moscow State University and the Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences in the estuaries of rivers in the European north of Russia (2013–2015) allowed to study the geomorphological structure, channel morphodynamics hydrological regime of river deltas, develop their morphogenetic classification and assess the intensity of delta formation processes. Based on the analysis of geological and geomorphological data, it was possible to establish that modern sedimentary and geomorphological estuarine systems, vast spaces of low-lying subaerial alluvial-deltaic plains and a complex hydrographic network of deltaic streams formed on the Arctic coast of Russia in the final phase of stabilization of the postglacial ocean transgression, when the rivers were able to actively accumulate their sediments at river mouths. Over the past 5–7 thousand years, some rivers have managed to create an extensive hydrographic network, fill the valley bays and move 150–200 km into the open sea. Other rivers are just beginning to form terrestrial deltas and channel networks. During the evolutionary development of estuarine geomorphological and sedimentary systems, there is a natural complication of the geomorphological appearance of deltas from a simple alluvial ledge to a multi-arm polygenetic alluvial-delta plain and the potential possibility of transforming the discharge deltas into one of the varieties of protruding deltas on the open seashore is realized.

The diversity of the structural and geological structure of the shelf, the features of fluctuations in the level of the marginal seas of the Polar Basin and the spatio-temporal variability of the erosion-accumulative capacity of rivers predetermined the diversity of morphogenetic types of mouth systems of the Arctic coast of Russia. The most common here are estuarine-delta and lagoon-delta systems of filling bays (Sev. Dvina, Pechora, Ob, Yenisei, Khatanga, Anabar, Yana, Indigirka, Kolyma, etc.). The Olenek and Lena rivers form protruding deltas on the open estuary seashore. Tidal estuaries are formed at the mouths of most of the small rivers on the coast of the European north of Russia, and blocked estuaries and lagoon systems are formed on the flat accumulative coasts of the north of Siberia and Chukotka.

Keywords: mouth system, delta, valley bay, lagoon, delta formation, geomorphology.

Введение

Арктическое побережье России располагается севернее Полярного круга от Кольского полуострова до Берингова пролива на расстоянии 22,6 тыс. км и омывается окраинными морями бассейна Северного Ледовитого океана – Баренцовым, Белым, Карским, Лаптевых, Восточно-Сибирским и Чукотским [Геоэкологическое состояние..., 2007]. На арктическом побережье России располагаются устья 15 крупных и средних рек (Онега, Северная Двина, Мезень, Печора, Обь, Таз-Пур, Енисей, Пясины, Хатанга, Анабар, Оленек, Лена, Яна, Индигирка, Колыма) и множества малых рек (например, Надым, Гыда, Верх. Таймыра, Омолой, Рауча, Чаун-Паляваам, Амгуэма, Пегтымель, Ионивеем и др.). Наблюдаемые в настоящее время устьевые осадочные и геоморфологические системы крупных рек, включающие обширные пространства низменных субаэральные аллювиально-дельтовых равнин со сложной гидрографической сетью и мелко-водные акватории субаквальных аванделът, сложились на арктическом побережье России за последние 5–7 тыс. лет, в заключительную фазу послеледниковой (фландрской) трансгрессии Мирового океана [Каплин, 1973; Каплин, Селиванов, 1999; Li Congxian, 1986; Walker, 1998]. За это время в устьях крупных рек была накоплена толща аллювиально-дельтовых и прибрежно-

морских отложений и сформирован специфический рельеф приустьевых субэдральных дельтовых равнин, имеющих четкие геоморфологические границы и определенное место среди прибрежных фаций в контактной зоне континентального и шельфового седиментогенеза, которые было предложено называть *устьевыми геоморфологическими и осадочными системами* [Коротаев, 2008, 2012 а,б].

Под устьевыми геоморфологическими и осадочными системами понимается комплекс субэдральных и субаквальных аллювиально-дельтовых и прибрежно-морских аккумулятивных и эрозионных форм рельефа, слагающие их отложения и система водотоков, сформированные рекой и морем в пределах устьевого конуса выноса реки за определенный исторический интервал времени. Существующее в настоящее время наиболее распространенное определение *устьевой области реки* как особого географического объекта, занимающего часть нижнего течения реки (устьевой участок и дельту) и часть прибрежной зоны приемного водоема (устьевое взморье), обладающего специфическим строением, азональным ландшафтом и формирующегося под воздействием устьевых процессов отражает специфику современных гидролого-морфологических процессов и имеет исключительно гидрологическое обоснование границ, не совпадающих с геолого-геоморфологическими границами устьевых систем [Михайлов, 1997; Михайлов и др., 1986].

Верхней границей устьевых геоморфологических и осадочных систем на побережьях окраинных арктических морей следует считать вершины среднеголоценовых долинных заливов (эстуария, долинного залива, лагуны), образованных во время ингрессии морских вод в устья рек. Нижней границей устьевой системы является подводное окончание современного устьевого конуса выноса (авандельты), совпадающее с морским склоном устьевого бара или зоны морского барообразования. В пределах устьевой осадочной и геоморфологической системы выделяются древний (придельтовый) и современный (дельтовый) районы. Последний подразделяется на участки: 1) собственно дельтовый (субэдральный) с общей узловой точкой для водотоков – вершиной дельты и 2) авандельтовый (субаквальный) с устьевыми и морскими береговыми барами. В процессе формирования устьевой системы происходило постепенное смещение вниз по течению вершины дельты и формирование областей древнедельтового и современнодельтового рельефа.

Многолетние экспедиционные исследования Географического факультета МГУ в устьевых областях крупных рек арктического побережья Сибири (1969–1996 гг.) и совместные работы МГУ и Института океанологии РАН в устьях рек европейского севера России (2013–2015 гг.) позволили изучить геоморфологическое строение, русловую морфодинамику, гидрологический режим речных дельт, разработать их морфогенетическую классификацию и оценить интенсивность процессов дельтообразования.

Материалы и методы исследования

В отечественных и зарубежных сводных работах об устьях рек публикуются весьма разноречивые сведения о количественных оценках речных дельт [Михайлов, 1997; Deltas..., 1979]. По мнению авторов, это происходит в результате неоднозначности понятия «речная дельта», что приводит к объединению под этим термином разновозрастных участков аллювиально-дельтовой равнины и включение территорий, не связанных с процессами дельтообразования. При выделении границ и площадей устьевых систем (дельтовых равнин) нами использован исторический принцип – определенный интервал геологического времени ее формирования от среднего голоцена до современности, который и определил их геоморфологические и стратиграфические границы, размеры аллювиально-дельтовых равнин и объем накопления отложений.

Основная задача работы – на основе палеогеоморфологического анализа низовий рек, аналитической обработки топографических карт и космических снимков попытаться определить площади аллювиально-дельтовых равнин (устьевых систем), сформированных за последние 5–7 тыс. л.н. в устьях крупных рек, наметить их характерные гидрографические и геоморфологические признаки и оценить скорость современных дельтообразующих процессов.

Типизация устьевых систем

Разнообразие структурно-геологического строения шельфа, особенности колебаний уровня окраинных морей Полярного бассейна и пространственно-временная изменчивость эрозионно-аккумулятивной способности рек предопределило многообразие морфогенетических типов устьевых геоморфологических и осадочных систем арктического побережья России. Наиболее распространены здесь эстуарно-дельтовые (Печора, Обь, Енисей, Хатанга, Анабар, Колыма) и лагунно-дельтовые (Сев. Двина, Яна, Индигирка) системы выполнения. Реки Оленёк и Лена формируют устьевые системы выдвигания на открытом устьевом взморье. В устьях большинства малых рек на побережье европейского и сибирского севера России образованы типичные приливные эстуарии (Печенга, Тулома, Териберка, Воронья, Поной, Варзуга, Уна, Кулой, Ома, Пеша, Коротаиха, Кара, Гыда, Омолой, Чаун-Паляваам, Ичувеем, Ионивеем, Великая), а на выровненных низменных аккумулятивных побережьях Чукотки – блокированные устья (Раучуа, Млелин) и дельты выполнения береговых лагун (Кэвеем, Пегтымель, Амгуэма, Туманская) [Коротаев, 2012а]. Этим основным морфогенетическим типам устьевых систем присущи свои весьма характерные природные признаки в структуре гидрографической сети, распределении стока воды и наносов по дельтовым рукавам, геоморфологическом облике аллювиально-дельтовых равнин и литологии осадочной толщи, а также в специфике дельтоформирующих процессов.

В эстуарно-дельтовых системах, развивавшихся в течение голоцена по типу выполнения долинных заливов, процессы дельтообразования во многом зависели от речного стока воды и наносов, который в устьях рек арктического побережья России, впадающих в ингрессионные заливы типа губ (Печорская, Обская, Тазовская, Енисейская, Хатангская и Анабарская), колеблется от 0,7 до 5,0 млн. т при водном стоке от 30 до 600 км³. Дельта обычно наследует форму затопленной речной долины, представляя собой моногенетическую средне-позднеголоценовую аллювиально-дельтовую равнину с массивами и отдельными островами разновозрастной поймы, где по обеим сторонам центрального пойменного массива сохраняются остаточные заливы или крупные рукава. Гидрографическая сеть такой дельты состоит из двух главных рукавов, самостоятельно впадающих в остаточные заливы, и густой сети поперечных второстепенных протоков, образующих пойменную многорукавность. Современные дельтовые разветвления локализованы в приморской части дельты.

Основной сток воды и взвешенных наносов распределяется между двумя главными рукавами, причем большая его часть попеременно сосредотачивается в одном более коротком из них. По мере заполнения залива и формирования консолидированной центральной поймы основной сток перемещается в сторону наибольшей остаточной емкости (внутридельтового залива). Наблюдается ощутимая потеря стока по длине дельтовых рукавов вследствие оттока в поперечные протоки и заполнения внутридельтовых водоемов (рис. 1-А).

Заполнение заливов происходило неравномерно и поэтапно. Например, в устье Енисея, где мутность воды не превышала 20 г/м³, за последние 7 тыс. лет была сформирована многорукавная дельта выполнения залива общей площадью 7,4 тыс. км². В Обской губе примерно за последние 4–5 тыс. лет образовалась дельта площадью 7,8 тыс. км² (мутность воды в вершине дельты 40 г/м³), а в Хатангском и Анабарском заливах, где сток наносов колеблется от 0,4 до 1,4 млн. т, площадь дельтовых накоплений не превышает 0,4–0,6 тыс. км². Исключением из этого ряда являются реки Колыма, имеющая значительную мутность воды (около 150 г/м³) и Пясины, которые к настоящему времени заполнили наносами свои долинныи заливы и формируют устьевые конусы выноса на открытом взморье.

Скорость заполнения наносами и интенсивность прироста морского края субаэральной дельты обусловлена величиной стока наносов, гидрографией залива (эстуария), амплитудой приливных и сгонно-нагонных колебаний уровня. Заполнение залива происходит поэтапно и неравномерно. Зона повышенной аккумуляции наносов смещается в пространстве, приспосабливаясь к новым условиям речного стока, гидрографии залива и активности морских фак-

торов. Вдоль рукавов и протоков формируется островная, проточно-островная, сегментная, сегментно-проточная и сегментно-гвивистая поймы.

В половодье по всей акватории залива преобладают речные условия и наблюдается постоянное стоковое течение до морской границы устьевой области. В межень усиливается влияние нагонов и приливов, формирующих в заливе и дельтовых рукавах обратные течения и явление «галоклина». Устьевой бар главного рукава может быть выдвинут на многие километры от морского края наземной дельты.

В устьевых системах выполнения лагун большая часть их территории сложена консолидированной старой дельтовой поймой, в которую врезаны современные пояса меандрирования нескольких (2–3) дельтовых рукавов, формирующих устьевые бары и новые дельтовые разветвления на открытом взморье. Дельта наследует форму устьевой лагуны, отчлененной от моря морской косой (пересыпью) или серией береговых баров. Скорость заполнения устьевой лагуны зависела от величины стока наносов, который колебался от 3 до 12 млн. т, и от размеров отчлененной лагуны. В лагунно-дельтовых системах Северной Двины, Яны и Индигирки выполнение лагун речными отложениями, смыкание наземных дельт с морской барьерной террасой и выход устьевых баров на открытое взморье завершилось 1,5 тыс. лет назад. На стадии полного выполнения устьевой лагуны и смыкания аллювиального конуса с морской барьерной террасой, дельта представляет собой полигенетическую средне-позднеголоценовую аллювиально-дельтовую равнину с врезанными более молодыми поясами меандрирования отмерших и активных дельтовых рукавов. После заполнения устьевой лагуны и выхода магистральных дельтовых рукавов на открытое взморье в их устьях образовались устьевые бары. При повышенной мутности воды ($200\text{--}700\text{ г/м}^3$) в устьях магистральных дельтовых рукавов формируются региональные субдельты (Индигирка).

Гидрографическая сеть дельты представляет собой правильный или асимметричный веер меандрирующих рукавов, отходящих от общей узловой точки (вершины дельты) и имеющих самостоятельный выход к морю. Главные рукава в приморской части дельты имеют вид эстуарной воронки с сетью островов и мелей и заканчиваются устьевым баром на устьевом взморье. Основная доля воды и наносов поступает в один из главных дельтовых рукавов, который является наиболее глубоким. На стадии полного заполнения устьевой лагуны наносами наблюдается длительное постоянство в распределении речного стока между рукавами дельты. На более ранних этапах выполнения лагуны возможны существенные перестройки гидрографической сети, коренные изменения в распределении стока и отмирание маловодных рукавов. Характерной чертой гидрологического режима дельтовых рукавов является малая доля потерь стока по длине водотоков. Преобладает транзит наносов от истока к устью дельтового рукава (рис. 1-Б).

Современные процессы дельтообразования локализованы в узкой (до 20 км) приморской зоне главных рукавов на участках их прорыва через морские барьерные террасы и на устьевом взморье, где формируются устьевые бары и региональные причлененные дельты выдвигания (субдельты). Устья второстепенных рукавов блокированы косами (пересыпями) и береговыми барами. Дельтовое побережье между главными рукавами развивается под действием морских факторов. В руслах главных рукавов происходит переформирование старой дельтовой поймы и формируется сегментная пойма и русловые формы (осередки, перекааты, побочни). На открытом океаническом побережье с ярко выраженными вдольбереговыми потоками наносов большой емкости блокируются все дельтовые рукава, устьевые бары не образуются и формируется блокированное устье.

Устьевые системы выдвигания на открытом взморье обычно представлены неразветвленным или многорукавным конусом выноса с округлым или лопастным морским краем, окаймленным береговыми барами вне действия магистральных дельтовых рукавов, с правильным или асимметричным веером извилистых рукавов, расходящихся от общей узловой точки – вершины дельты. На большей части дельтовой равнины развита моногенетическая средне-поздне-

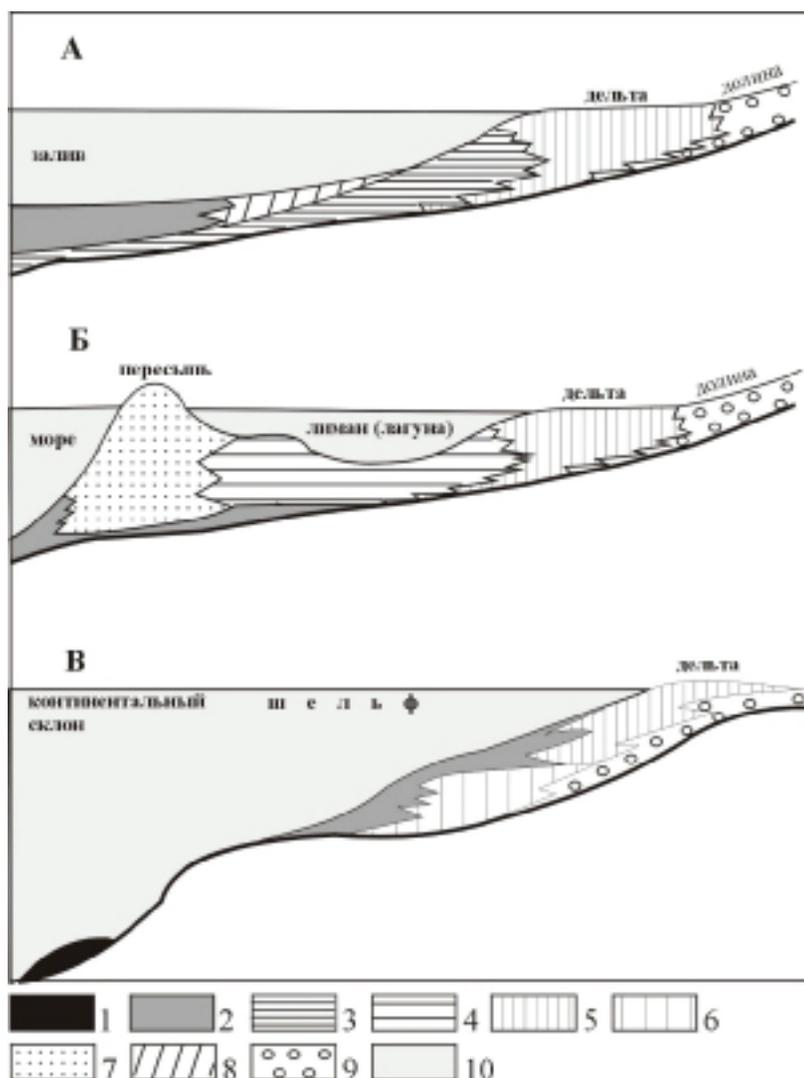


Рис. 1. Осадочные модели основных морфогенетических устьевых систем:

А – эстуарно-дельтовые, Б – лагунно-дельтовые, В – дельтовые. Отложения: 1 – глубоководных конусов выноса, 2 – морские голоценовые, 3 – аллювиально-морские голоценовые, 4 – лагунные голоценовые, 5 – дельтовые плейстоценовые, 6 – дельтовые голоценовые, 7 – прибрежно-морские голоценовые, 8 – аллювиальные современные внешнего устьевго бара, 9 – аллювиальные голоценовые, 10 – водные объекты

Fig. 1. Sedimentary models of the main morphogenetic estuarine systems:

А – estuarine-deltaic, В – lagoon-deltaic, С – deltaic. Deposits: 1 – deep-sea Holocene yield cones, 2 – marine Holocene, 3 – alluvial-marine Holocene, 4 – lagoonal Holocene, 5 – deltaic Pleistocene, 6 – deltaic Holocene, 7 – coastal-marine Holocene, 8 – alluvial modern outer estuary bar, 9 – alluvial Holocene, 10 – water bodies

голоценовая крупноостровная дельтовая пойма, в приморской зоне – полигенетическая современная мелкоостровная дельтовая пойма с примкнувшими береговыми формами. Обводняется практически вся территория дельтовой равнины путем рассредоточения стока по многочисленным дельтовым рукавам и протокам. Обычно выделяются два-три главных рукава, концентрирующих основную часть речного стока. Многократные разветвления и слияния дельтовых водотоков, фиксирующих этапы выдвижения дельты в море, приводят к значительным потерям стока по длине рукавов, доносящих к своим устьям 10–30 % от поступившего к их истокам. Характерной чертой дельт выдвижения является многократное превышение числа устьев

впадающих в море водотоков над числом рукавов в привершинной части дельты. Дальность проникновения нагонов зависит от уклонов водной поверхности и гидравлических характеристик речного потока (рис. 1-В).

В большинстве случаев происходит равномерное нарастание дельты по всему периметру, контролируемое морскими факторами. По мере приближения морского края наземной дельты к зоне активного морского барообразования и заполнения наносами внутридельтовых водоемов, возникает возможность лопастного выдвижения отдельных рукавов, концентрирующих основной сток воды и наносов. Устья маловодных рукавов и проток могут блокироваться и отмирать. Устьевые бары характерны для развивающихся рукавов. Для верхних и средних участков дельтовых рукавов, где преобладают речные условия, наиболее характерным процессом является переформирование старой дельтовой поймы и образование сопряженных узлов разветвления русел, испытывающих периодическое перераспределение стока, активизацию или отмирание проток и миграцию динамической оси потока. Приморские участки главных дельтовых рукавов, находящихся в зоне действия систематических нагонов и приливов, отличаются активными горизонтальными деформациями и усиленной аккумуляцией наносов, приобретающего вид разбросанного многорукавного русла. Дельтовые протоки здесь узкие и прямолинейные, относительно мелководные со слабо развитой поперечной проточностью.

Размеры дельтовых систем (Оленек, Лена), развивавшихся под сильным влиянием морских факторов с момента появления субаэральных аллювиально-дельтовых образований, в значительной степени зависели от величины речного стока наносов и топографии устьевого взморья. На отмелем устьевом взморье при стоке наносов от 13 до 21 млн. т были сформированы дельты выдвижения общей площадью от 12 до 20 тыс. км². На приглубых берегах, где развиты вдольбереговые потоки наносов большой емкости, площади дельтовых накоплений не превышают 1–6 тыс. км².

Геоморфология и история формирования основных морфогенетических типов устьевых систем

Эстуарно-дельтовая система Енисея представляет собой сравнительно молодое аккумулятивное образование, возникшее в период стабилизации послеледниковой трансгрессии 5–7 тыс. лет назад, когда уровень моря достиг современного положения. В подтопленной речной долине образовался узкий залив длиной 400 км. Заполнение его речными наносами шло медленно. К настоящему времени дельтовая равнина занимает третью часть эстуария от вершины устьевой системы в траверзе мыс Крестовский–пос. Мал. Хетта до морского края наземной дельты общей площадью около 7,4 тыс. км², а дельтовые отложения и подводные русловые формы прослеживаются в Енисейской губе на 130 км от края надводной дельты до мыса Шайтанского, где сейчас формируется внешний устьевой бар площадью 2,5 тыс. км².

Устьевая система Енисея – типичная многорукавная эстуарно-дельтовая система заполнения заливов, процессы образования которой полностью определяются речными факторами. Устьевую систему Енисея в установленных границах можно расчленить на два геоморфологических района: древнедельтовый и современнодельтовый, в пределах которых выделяются несколько морфологических и возрастных разновидностей дельтовых пойм. Древняя пойма возвышается над меженным урезом на 8–10 м. Она сильно переработана мерзлотными и эрозионными процессами. Различают две ее разновидности: с омоложенным русловым рельефом и мерзлотным рельефом. Поверхность первой часто заливаается в половодье, и ориентировка крупных термокарстовых озер и мелких извилистых протоков соответствует направлению стока полых вод. Полигональный мерзлотный рельеф развит слабо. Поймы второй разновидности в половодье не заливаются. Русловый рельеф здесь сохранился плохо (рис. 2).

Старая дельтовая пойма поднята над меженным урезом на 7–10 м. Ее поверхность в высокую воду практически не заливаается, первичный рельеф переработан мерзлотными процессами. Эта пойма составляет основу рельефа центральной части дельты. По характеру первичного

руслового рельефа она разделяется на два типа: островную, первично-дельтовую, и сегментно-гривистую, вторично дельтовую. Островная пойма характерна наличием сохранившегося элементарного острова и отходящих от него вниз по течению повышенных прирусловых валов. Сегментно-гривистая пойма образуется при причленении к островам побочной, процесс ее формирования обычно сопровождается размывом островной поймы на вогнутых берегах излучин.

Старая дельтовая пойма имеет высоту 6–5 м в вершине дельты и снижается до 3–5 м к ее морскому краю. Она заливается только в самые высокие паводки. Первичный русловой рельеф на ее поверхности сохранился хорошо, мерзлотные формы лишь подчеркивают его. Эта пойма развита тоже в центральной части дельты в виде основной и сегментно-гривистой узкими лентами окаймляющими массивы древней и очень старой поймы.

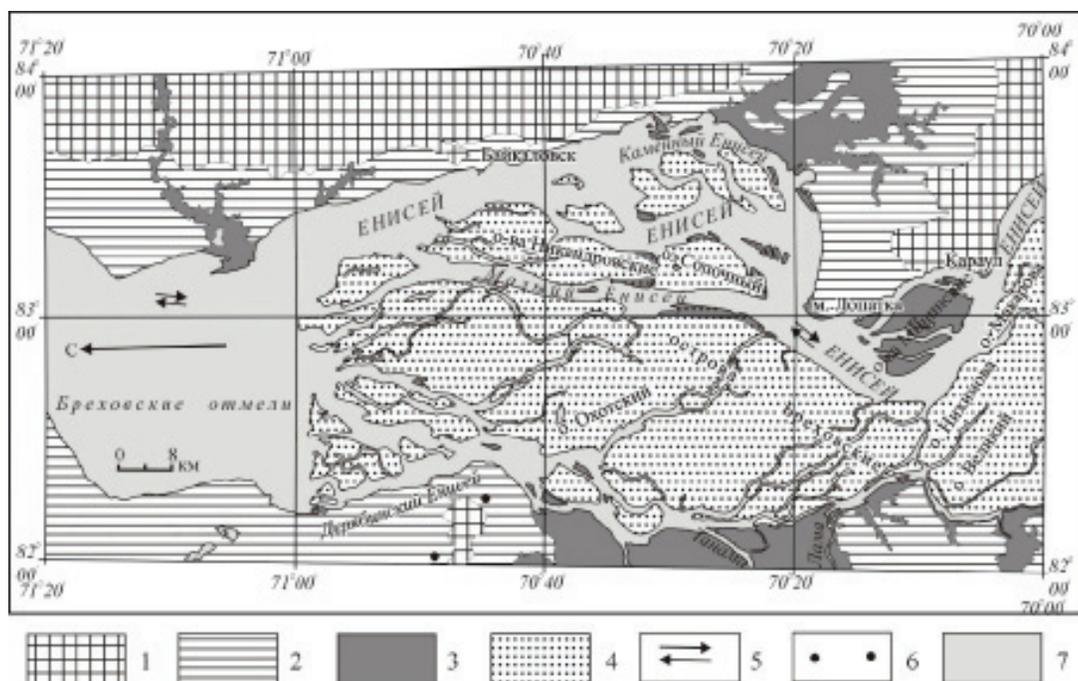


Рис. 2. Геоморфологическая карта эстуарно-дельтовой системы р. Енисей.

1 – эрозионно-аккумулятивный рельеф холмистых моренных равнин валдайского оледенения (от 70 до 120 м), 2 – комплекс морских террас (казанцевская, каргинская, современная от 1–5 до 30–60 м), 3 – пойменно-русловой рельеф речных долин, 4 – комплекс дельтовых пойм (старая, зрелая, молодая от 1–2 до 5–8 м), 5 – направление приливо-отливных течений, 6 – булгуньяхи, 7 – водные объекты

Fig. 2. Geomorphological map of the Yenisei River estuarine-delta system.

1 – erosion-accumulative relief of hilly moraine plains of the Valdai glaciation (from 70 to 120 m), 2 – complex of marine terraces (Kazantsevskaya, Karginsky, modern from 1-5 to 30-60 m), 3 – floodplain-channel relief of river valleys, 4 – complex of delta floodplains (old, mature, young from 1-2 to 5-8 m), 5 – direction of tidal currents, 6 – bulgunnyakh, 7 – water bodies

Зрелая дельтовая пойма развита повсеместно, имеет высоту 5 м у вершины дельты и до 3 м ближе к ее морскому краю; заливается в высокие половодья. Мерзлотные полигоны встречаются здесь только на самых возвышенных участках. Среди ее массивов выделяются островная, сегментная и мелкоостровная поймы. Островная зрелая пойма широко развита в восточной и западной частях дельты. В центральной части дельты при отмирании рукавов между массивами древней и старой поймы формируется сегментно-мелкоостровная и мелкоостровная зрелая пойма.

Молодая дельтовая пойма также распространена повсеместно. Она имеет высоту 3 м у вершины и 1–2 м в приморской части дельты. Заливается водой в половодье и во время сильных нагонов. Поверхность ее не изменена мерзлотными процессами, хотя толща отложений скована мерзлотой. Островная молодая пойма встречается только в западной части дельты и имеет проточно-островной характер. В восточной части дельты молодая пойма представлена в основном сегментно-крупногривистыми массивами, окаймляющими острова со зрелой поймой. В центральных и привершинных частях дельты Енисея развита сегментно-мелкогривистая и мелкоостровная поймы в отмирающих протоках.

Заполнение речными наносами Енисейского эстуария и формирование лиманно-дельтовой системы происходило несколькими этапами. На I этапе продолжительностью около 1000 лет основной сток Енисея проходил вдоль западного побережья залива. Накопление аллювия и выдвигание дельты на участке от устья р. Малая Хета до мыса Адросоля шло за счет активного развития левобережных рукавов, которые в настоящее время сохраняются в виде узких протоков и извилистых понижений. Можно предположить, что в пределах Крестовско-Муксунинского расширения долины функционировали древние аналоги протоков Широкой и Большой (Гаррисон и др., 1981; Коротаев В.Н. и др., 1987).

По мере заполнения залива и выдвигания внешнего края дельты в Танамо-Мунгуйское расширение основной сток и область аккумуляции смещаются в центральную часть залива, открывая II этап развития дельты, продолжительностью 2000 лет. Выше мыса Муксунинского закладывается первый узел разветвления из двух дельтовых рукавов – Широкой и Енисея. Последний концентрировал в себе две трети стока воды и положил начало формированию очень старых пойменных островов. Ниже мыса Муксунинского Енисей разделяется тоже на два рукава – Охотско-Бреховский и Малый Енисей, примерно одинаковые по водности. В западной и восточной частях Танамо-Мунгуйского расширения по обеим сторонам выдвигающейся дельты оставались глубоко вдававшиеся заливы Дерябинский и Большеенисейский, в которых формировались подводные песчаные банки, ориентированные вдоль заливов и заложившие основу старых пойменных островов.

III этап формирования устьевой системы Енисея начинается с выполнения остаточных заливов, причем преимущественное развитие получает восточная часть дельты, куда направляется основной сток воды и наносов. Наиболее характерным для этого периода является отмирание многих рукавов предыдущего этапа. Заполняется наносами ранее весьма активный и крупный рукав Охотский Енисей; происходит консолидация островов Бреховских в единый пойменный массив, отмирает протока пра-Широкая. Древняя дельтовая пойма подвергается сильному размыву, а первичный русловой рельеф местами погребается под новейшими отложениями.

Отмирание многих рукавов, несших свои воды в западную часть дельты, приводит к большей концентрации стока в восточном, Большеенисейском заливе, где продолжается активная аккумуляция наносов. На IV этапе дельтообразования (1200–1500 лет назад) здесь появляются острова и происходит дробление Большого Енисея на систему более мелких протоков и рукавов. В устье Дерябинского Енисея образуется множество мелких островов.

На современном V этапе, начало которого определяется 800 лет назад, продолжается заполнение речными отложениями узких остаточных заливов вдоль коренных бортов долины по Дерябинскому и Каменному Енисею. Основной сток воды и наносов продолжает перемещаться к правому берегу. Формирующаяся в настоящее время молодая пойма дельтовых островов приурочена к косам в ухвостье островов, к недавно возникшим осередкам и побочным. В русле Енисея возникают многочисленные отмели и осередки, незакрепленные растительностью. Аккумуляция основной части стока взвешенных наносов реки в остаточных заливах с глубинами 20–40 м замедляет процесс наращивания надводной части дельты. Анализ картографического и аэрофотосъемочного материала за последний 20-летний период показывает, что скорость

выдвижения внешнего края дельты в Енисейскую губу составляет не более 20 м/год, что крайне незначительно для такой многоводной реки, как Енисей.

Лагунно-дельтовая устьевая система Яны. Дельтовая равнина р. Яны имеет довольно сложный рельеф, представленный различными по возрасту и генезису типами. Верхней гидрологической границей дельты (ее вершиной) считается начало ответвления от главного русла р. Яны дельтовых рукавов у пос. Казачье (150 км от устья, где формируются правые оттоки Самандон и Кочевая, впадающие в Чондонскую губу и образующие региональные дельты выполнения. Ниже по течению существует еще ряд правых оттоков (Дурганова, Камелек). Характерно, что все правые дельтовые рукава формируют свои русла вне пределов голоценовой дельтовой равнины и врезаны в более древние отложения. Эти рукава расположены в своеобразных долинах, образованных цепочками сомкнувшихся изометрических котловин, представляющих собой реликты термокарстовых озер. В процессе развития и деградации криогенного рельефа на поверхности морских и аллювиальных террас происходило и расширение, и объединение термокарстовых котловин, в которые затем стали поступать паводочные воды Яны. В результате этого на голоценовом этапе формирования низовьев р. Яны от реки отделились рукава, начальная стадия руслоформирования которых обязана термокарстовым процессам.

Собственно голоценовая дельтовая равнина р. Яны представлена сравнительно ограниченной территорией (общая площадь 2,09 тыс. км²), заключенной между сартанским аллювиальным конусом выноса на юге, позднеплейстоценовой озерно-аллювиальной равниной (едомой) на западе и морской голоценовой барьерной террасой на севере. Сформировалась она в ходе заполнения аллювием устьевой лагуны, отчлененной серией береговых баров 3 тыс. лет назад от Янского залива моря Лаптевых и в настоящее время перекрытых более молодыми отложениями (Коротаяев, 1999; Коротаяев и др., 1978; Нижняя Яна..., 1998). В ее пределах выделяются три уровня дельтовой поймы: старая, зрелая и молодая (рис. 3).

Старая дельтовая пойма – наиболее высокая (до 5–6 м в вершинной части дельты и 2–3 м в приморской) занимает большую часть дельтовой равнины. Поверхность ее представляет собой типичную полигональную тундру. Сложена высокая пойма сизовато-серым мелким алевритом с многочисленными прослоями торфа и линзами льда. Первичный русловый рельеф практически не прослеживается. Возраст отложений по ¹⁴C составляет 2170±230 лет – 1950±150 лет, что позволяет отнести начало надводного осадконакопления в дельте к концу атлантического – началу суббореального периода голоцена.

Зрелая дельтовая пойма довольно отчетливо выделяется среди однообразной древней поверхности дельтовой равнины в виде широких поясов меандрирования с ложбинно-гривистым рельефом. Абсолютные высоты поймы колеблются от 2–3 м в вершинной части дельты до 1,5–2 м в приморской. Сложена пойма толщей переслаивающихся темно-серых тонкозернистых песков, алевритов с прослоями органических остатков. Возраст отложений – от 1120±150 лет до 650±230 лет.

Молодая дельтовая пойма встречается вдоль русла основных дельтовых рукавов и крупных протоков в виде небольших и редких островов и сегментной поймы с абсолютными высотами от 1,5–2 м до 0,5–1,0 м. Возраст ее – от 400±230 лет до 190±250 лет. Кроме того, весьма характерным элементом русла большинства водотоков являются высокие пески: осередки, побочни, перекастов, прибрежные отмели, сформированные за последние 100 лет и определяющие современную динамику русловых форм.

Приморская полоса дельтовой равнины Яны представляют собой морскую террасу, образованную примкнувшими друг к другу береговыми барами и лагунами. На ее поверхности четко выделяются две генерации древних морских баров и полоса современных береговых баров, окаймляющая весь внешний периметр дельтового конуса. Палеогеоморфологический анализ дельтовой равнины р. Яны свидетельствует о нескольких этапах формирования дельты Яны. Первый этап связан с образованием обширной устьевой лагуны в вершине Янского залива и

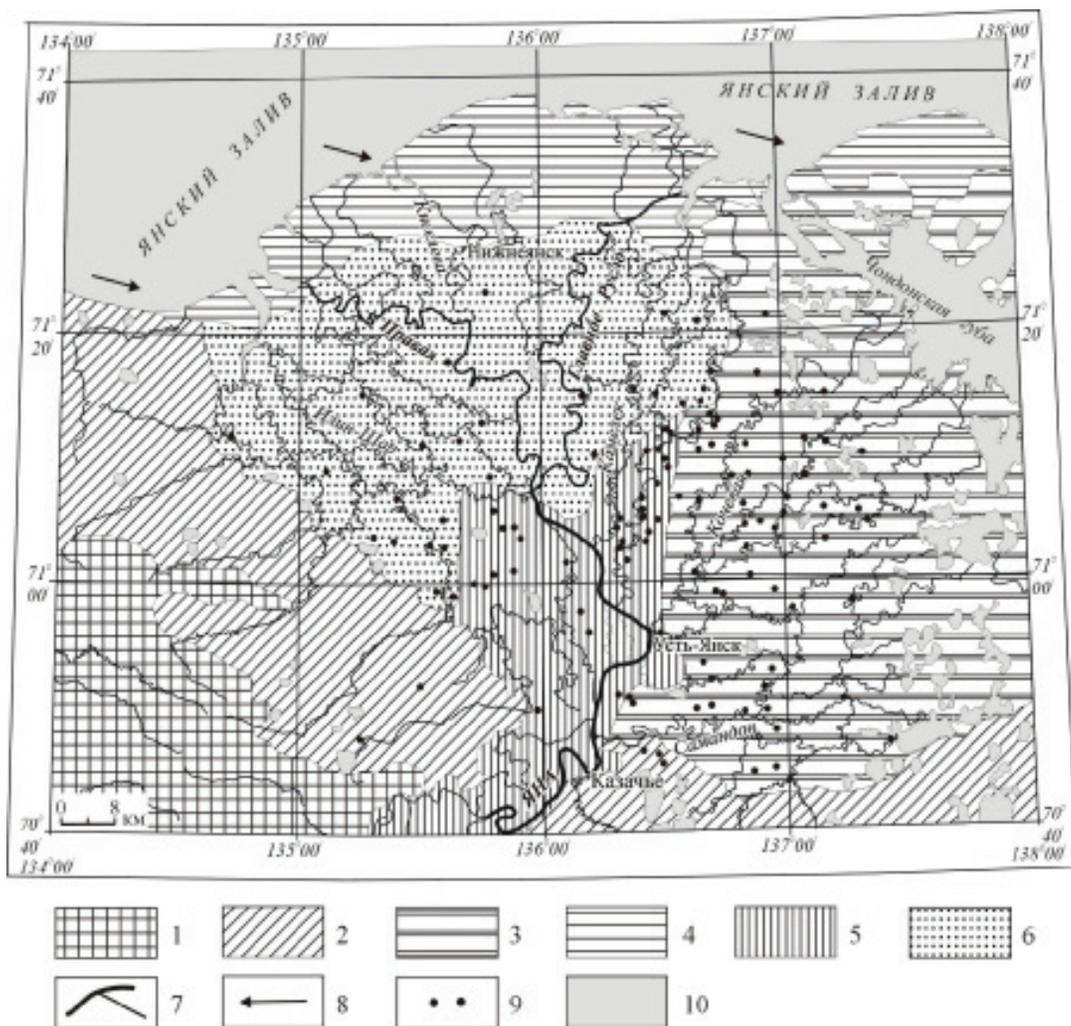


Рис. 3. Геоморфологическая карта лагуно-дельтовой системы р. Яны.

1 – эрозионно-денудационный рельеф низкогорий (до 500 м), 2 – озерно-аллювиальная средне-позднеплейстоценовая равнина (едома, 30–60 м), 3 – морская позднеплейстоценовая терраса (каргинская, 15–25 м), 4 – комплекс морских террас (позднеголоценовая и современная от 1 до 5 м), 5 – сартанский аллювиальный конус выноса (5–15 м), 6 – комплекс голоценовых дельтовых пойм (старая, зрелая, молодая от 1 до 5 м), 7 – гидрографическая сеть, 8 – направление потоков береговых наносов, 9 – булгуньяхи, 10 – водные объекты

Fig. 3. Geomorphological map of the Yana River lagoon-delta system.

1 – erosion-denudation relief of lowlands (up to 500 m), 2 – lake-alluvial middle-late Pleistocene plain (edomas, 30-60 m), 3 – marine late Pleistocene terrace (Karginsky, 15-25 m), 4 – marine terrace complex (late Holocene and modern from 1 to 5 m), 5 – sartan alluvial alluvial cone of withdrawal (5-15 m), 6 – Holocene delta floodplain complex (old, mature, young from 1 to 5 m), 7 – hydrographic network, 8 – direction of coastal sediment flows, 9 – bulgunnyakh, 10 – water bodies

постепенным ее заполнением наносами р. Яны. Формирование древней (высокой) дельтовой поймы и смыкание дельты с барьерной морской террасой завершилось в начале суббореального периода голоцена не ранее 4000 лет назад, когда уровень океана был близок к современному. Все последующее развитие дельты и ее гидрографической сети определялось характером блуждания дельтовых рукавов в пределах дельтовой равнины, прорывом многоводными рукавами блокирующей террасы и выдвиганием устьевых баров главных рукавов на отmelое взморье.

За последние 3500–4000 лет произошла коренная перестройка структуры гидрографической сети янской дельты, в результате которой сток воды и наносов из центральной (северной) части дельтового конуса переместился к его периферийным частям (к западу и востоку), где в настоящее время функционируют магистральные дельтовые рукава Куогастаах и Главное Русло. Накопление отложений высокой поймы в ее надводной части мощностью от 2 до 4 м происходило в суббореальный период голоцена между 3,5–1,3 тыс. лет. Отложение аллювия, торфа и льда шло со скоростью примерно 20 см в столетие. После выхода поймы из-под уровня ежегодного затопления вертикальный рост ее замедлился. Восстановить положение гидрографической сети на первом этапе формирования дельты затруднительно. Предполагается, что к этому времени еще не было таких дельтовых рукавов как Самондон, Кочевая, Дурганова и Камелек. Основной узел разветвления располагался, очевидно, в районе урочища Развилка в 95 км выше морского края дельты, где начинались рукава пра-Киселева и пра-Охсуу.

На втором этапе развития янской дельты в субатлантическое время (1000–600 лет назад) наметилось дальнейшее заложение новых дельтовых рукавов в восточной части дельты и коренная перестройка гидрографической сети в ее вершинной части, где начали функционировать протоки Камелек и Дурганова. Перераспределение речного стока в пользу пра-Главного Русла и пра-Куогастаах привели к отмиранию рукавов пра-Киселева и пра-Охсуу, блокирование их устьев береговыми барами.

Современный этап (менее 600 лет назад) развития дельты характеризуется уменьшением речного стока в вершину дельты (воды – 30,7 км³ и наносов – 3,0 млн. т. в год) и продолжающейся тенденции к переброске большей части стока в пользу Главного Русла (воды – от 33 до 53 % и наносов – от 35 до 50 %). Увеличивается доля стока в рукава восточной части дельты (Самондон, Кочевая, Дурганова). Современные процессы дельтообразования (барообразование и устьевое удлинение) сосредоточены главным образом в устьевых участках магистральных рукавов, где формируются устьевые бары площадью 90 км² (Правая) и 60 км² (Главное Русло).

Итак, на протяжении позднего голоцена за последние 3,5–4 тыс. лет произошла коренная перестройка структуры гидрографической сети янской дельты, в результате которой основной сток вода и наносов из центральной части дельтового конуса переместился к его лереферийным частям, где в настоящее время функционируют магистральные дельтовые рукава Куогастаах и Главное Русло. Гидролого-морфологические процессы в этих рукавах связаны, в основном, с развитием крутых излучин, постепенно смещающихся вниз по течению. Русловые деформации имеют небольшую интенсивность, положение гребней перекаатов за многолетний период достаточно устойчиво, а их вертикальные деформации связаны с изменчивостью стока вода и наносов. Здесь преобладает направленный размыв вогнутых пойменных берегов излучин со скоростью 3–5 м/год и наращивание выпуклых участков берега по 5–20 м/год. Современные процессы дельтообразования сосредоточены на баровых участках главных рукавов. Прирост поверхности дельтового конуса происходит за счет аккумуляции аллювия на акватории устьевых баров и в процессе причленения береговых баров к морскому краю дельты.

Дельтовая система Лены. История формирования дельты Лены тесно связана с историей развития ее долины с момента заложения и с основными этапами структурно-тектонических перестроек в ее бассейне (Алексеев, 1961; Галабала, 1987; Коржуев, 1977;). Из всего многообразия типов речных дельт арктического побережья Сибири Ленская дельта представляет собой наиболее сложно построенное полигенетическое устьевое образование. Оно включает в свою территорию не только несколько самостоятельных голоценовых дельт выполнения заливов и выдвигания на открытом берегу, но и коренные девонские останцы (о. Столб, г. Америка-Хайа), останцы Приморской равнины (едома островов Харданг, Сардах, Собо-Сисэ) и обширные участки песчаных отложений с ярко выраженным грядово-котловинным и озерно-термокарстовым рельефом с высотами не более 25 м (так называемая «вторая терраса») в урочище Арга-Муора-Сисэ общей площадью 34 тыс. км².

Цепочки плоских останцов высокой (20–60 м) Приморской равнины сложены ледовым комплексом (мерзлые верхнечетвертичные отложения с большими ледяными клиньями). На их поверхности развит обычный для криозоны мерзлотный рельеф: полигоны, гидролаколлиты и байджеРахи. В основании ледового комплекса залегают среднечетвертичные пески (Галабала, 1987). Эта геологическая формация, согласно радиоуглеродным датам (Григорьев, 1993), образовалась между 45 и 12 тыс. лет назад.

Плосковершинные песчаные заозеренные массивы второй террасы высотой 15–25 м в урочище Арга-Муора-Сисэ, благодаря последним исследованиям, предположительно относят к абразионной морской террасе, которая была выработана в отложениях едомного комплекса во время гримальдийской (позднеплейстоценовой) трансгрессии океана, а затем была поднята в результате неотектонических блоковых движений (Большаинов и др., 2013; Are F., Reimnitz E., 2000).

В пределах голоценовой дельтовой равнины р. Лены (площадь около 25 тыс. км² с вершиной в районе о. Тас-Ары) наблюдаются три разновозрастные пойменные поверхности и комплекс современных русловых форм (побочни, осередки, косы, отмели) (рис. 4). Последние наиболее развиты в рукавах Быковской и Сордоохской дельт выполнения, на приморском участке

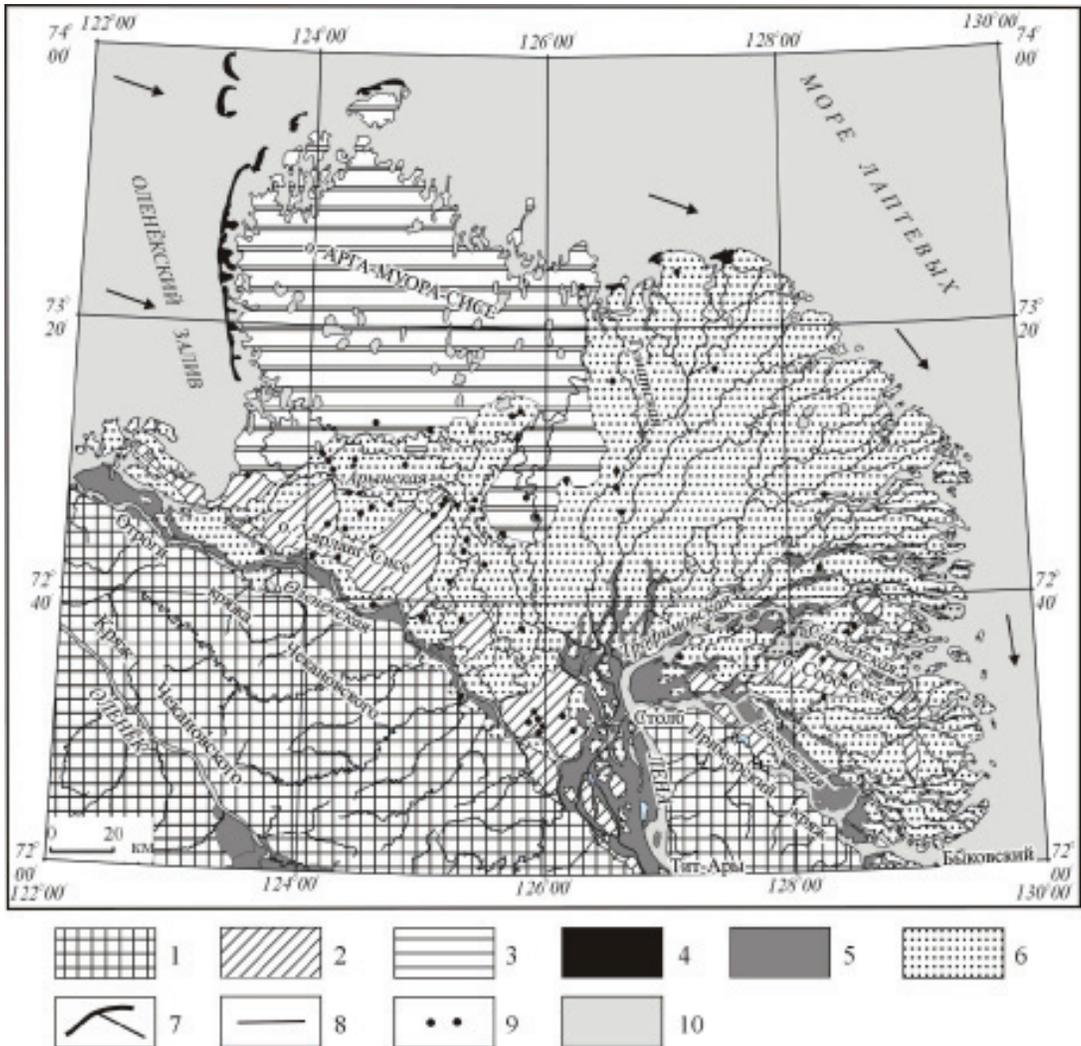


Рис. 4. Геоморфологическая карта дельтовой системы Лены.

1 – структурно-денудационный рельеф низкогорий (до 500 м), 2 – озерно-аллювиальная средне-позднеплейстоценовая равнина (едома, 30–60 м), 3 – морская позднеплейстоценовая терраса (от 15 до 25 м),

4 – морская современная терраса (до 1 м), 5 – пойменно-руслевой рельеф речных долин, 6 – комплекс дельтовых пойм (старая, зрелая, молодая от 1–2 до 5–8 м), 7 – гидрографическая сеть, 8 – направление вдольбереговых потоков наносов, 9 – булгуньяхи, 10 – водные объекты

Fig. 4. Geomorphological map of the Lena delta system.

1 – structural-denudation relief of lowlands (up to 500 m), 2 – lake-alluvial middle-late Pleistocene plain (edomas, 30-60 m), 3 – marine late Pleistocene terrace (15 to 25 m), 4 – marine modern terrace (up to 1 m), 5 – floodplain-channel relief of river valleys, 6 – complex of deltaic floodplains (old, mature, young from 1-2 to 5-8 m), 7 – hydrographic network, 8 – direction of longshore drifts, 9 – bulgunnyakh, 10 – water bodies

Оленекской, а также на всем протяжении Сардахской протоки. Высота русловых форм над меженным уровнем постепенно увеличивается от устья рукавов к вершинам дельт от 1 до 4 м. Дельтовые острова по времени накопления отложений подразделяется на молодые формирующиеся, зрелые сформированные и старые пойменные поверхности (Коротаев, 1984; Коротаев и др., 1990). Молодая формирующаяся пойма (возраст от 400 до 1000 лет) с высотами до 3 м слабо закреплена растительностью, ежегодно заливадается в половодье или во время высоких нагонов и паводков. Здесь развит полигональный крупноячеистый микрорельеф со слабыми проявлениями термокарстовых процессов. Наиболее значительные площади этой поймы приурочены к приморской зоне выдвинутых конусов Туматской и Трофимовской проток, где ширина пояса молодых дельтовых пойм достигает 15–30 км.

Более высокие (3–5 м) дельтовые острова представлены зрелой поймой, сформированной 2000–3000 лет назад. Ее поверхность имеет хорошо выраженный полигонально-валиковый микрорельеф и занята большим количеством мелких озер. Поверхность островов покрыта типичной тундровой растительностью, отложения сильно заторфованы, иногда на всю высоту поймы. Наиболее старая и высокая (от 5 до 10 м) часть голоценовой дельтовой поймы, образованная 3–4,5 тыс. лет назад, не заливается даже во время высоких половодий и находится в стадии перехода к надпойменной террасе. Здесь широко развит термокарст и полигональный рельеф, который деградирует и разрушается. В котловинах спущенных озер встречаются булгуньяхи высотой от 10–12 до 20–25 м. В отложениях старой поймы преобладают торфяники с прослоями песков и включениями ледяных линз.

Палеогеоморфологический анализ распространения дельтовых пойм дает основание предполагать, что на ранних этапах формирования Ленской дельты происходило интенсивное заполнение всех полузамкнутых акваторий в устье Лены, возникших в результате его подтопления морем во время фландрской трансгрессии, и выдвигание многорукавного дельтового конуса на месте современных проток Туматской, Трофимовской и Сардахской. За 3 тыс. лет сформировалась основная часть надводной дельты: полностью был выполнен аллювиально-дельтовыми осадками Арынский залив, заключенный между останцами едомы и второй абразионной террасы. От длинного и узкого Оленекского эстуария остался небольшой залив длиной 40 км, расположенный между отрогами хр. Чекановского и обрывами едомы массива Эбо-Эсме.

Основной конус Ленской дельты выдвинулся на расстояние до 90 км несколькими лопастями, фиксирующими направление стока вод Лены в позднем голоцене. Быковская протока приобрела современный облик сравнительно недавно, около 1000 лет назад. Существовавшая здесь к началу голоцена обширная полузамкнутая акватория, ограниченная с юга склонами Приморского кряжа, а с севера и востока – останцовыми массивами едомы, постепенно заполнялась дельтовыми островами. 4–5 тыс. лет назад основной сток воды проходил здесь вдоль левобережных обрывов о. Собо-Сисэ, а затем переместился к юго-восточному краю акватории, в бухту Неелова.

Таким образом, в устье Лены формирование дельтовых островов и консолидированных массивов поймы высотой от 3 до 10 м завершилось 1000–800 лет назад, когда и была заложена основа современной гидрографической сети дельт. В настоящее время основная масса

речных наносов аккумулируется на поверхности субэвразальной голоценовой равнины (до 85 %). В устьях магистральных дельтовых рукавов на открытом взморье формируются устьевые бары размером не более 180 км² (Оленекская и Быковская протоки) и береговые бары вдоль морского побережья Ленской дельтовой системы вне зоны действия магистральных дельтовых рукавов.

Заключение

За последние 5–7 тыс. лет речные дельты прошли стадийное эволюционное развитие, что отразилось в закономерном усложнении геоморфологического облика дельт от простого аллювиального выступа до полигенетической аллювиально-дельтовой равнины, расчлененной многочисленными рукавами. В большинстве случаев произошло постепенное преобразование дельт выполнения в одну из модификаций дельт выдвигания на открытом взморье, с формированием субдельт и устьевых баров.

Многолетние экспедиционные исследования Географического факультета МГУ в устьевых областях крупных рек арктического побережья Сибири (1969–1996 гг.) и совместные работы МГУ и Института океанологии РАН в устьях рек европейского севера России (2013–2015 гг.) показали, что формирование речных дельт происходит крайне медленно. За последние 7–5 тыс. лет только такие многоводные реки как Обь, Енисей, Лена, Яна, Индигирка и Колыма смогли образовать устьевые аллювиально-дельтовые конусы выноса площадью от 2 до 25 тыс. км². Прирост морского края речных дельт составлял не более 0,02 км²/год, а скорость устьевого удлинения не превышала 10–30 м/год, несмотря на то, что сток наносов в вершинах этих дельт колебался от 5 до 22 млн. т при водном стоке от 35 до 600 км³. На акватории устьевых взморий рек севера Сибири за последние 100 лет не отмечено появление новых дельтовых островов. Морской склон большинства устьевых баров на протяжении последних 60 лет находится практически в стабильном состоянии, несколько выдвигаясь в море или отступая в сторону берега в зависимости от изменчивости речного стока.

Регулирование речного стока водохранилищами или переброска части стока в другие бассейны приводит к изменению процессов дельтообразования. Так, создание крупных водохранилищ в верхней части бассейна р. Енисей уменьшило величину годового стока наносов реки с 14, 0 до 4, 1 млн. т (г.п. Игарка), что при значительном водном стоке (около 600 км³ в вершине дельты) увеличило транспортирующую способность некоторых дельтовых водотоков и замедлило процессы накопления речных наносов в пределах наземной дельты. Неаккумулированная часть речных отложений выносилась далеко за пределы морского края дельт на расстояние до 200 км и участвовала в формировании так называемых внешних устьевых баров, площадь которых иногда была соизмерима с размерами современных дельт (2590 км² в Енисейском заливе и 1100 км² в эстуарии р. Хатанги).

Средняя скорость прироста позднеголоценовых дельт крупных рек с большим водным стоком (от 100 до 600 км³) и относительно небольшим стоком взвешенных наносов (от 3 до 12 млн. т) на побережьях окраинных морей России (Обь, Енисей, Печора, Колыма, Амур) не превышала 0,9–1,0 км²/год, за исключением дельты Лены, где ежегодный прирост составлял около 5 км², что позволило ей сформировать самую большую дельту на территории России (около 25 тыс. км²). В устьях с ярко выраженным эстуарным режимом уровней и реверсивными течениями (Мезень, Хатанга, Анабар) формирование субэвразальных дельт происходило крайне медленно, не более 0,01–0,25 км²/год.

Продолжающееся глобальное потепление климата и медленный подъем уровня Мирового океана приведет к замедлению процессов современного дельтообразования, увеличению дальности проникновения морских вод в устья рек, подтоплению приморской зоны на расстоянии 15–30 км и активизации процессов абразии. Учитывая ландшафтно-климатические и геокриологические особенности побережий российской Арктики, можно ожидать, что протаивание и деградация многолетнемерзлых пород и жильных льдов на акватории авандельт и в приморской зоне аллювиально-дельтовых равнин стимулирует разрушение дельтовых берегов.

Литература

1. Алексеев, М. Н. Стратиграфия континентальных неогеновых и четвертичных отложений Вилюйской впадины и долины нижнего течения реки Лены / М. Н. Алексеев // Труды ГИН., 1961. – Вып. 51. – 119 с.
2. Происхождение и развитие дельты реки Лены/ Д. Ю. Большианов, А. С. Макаров, В. Шнайдер, Г. Штоф // Санкт-Петербург: Изд-во ААНИИ. – 2013. – 268 с.
3. Галабала, Р. О. Новые данные о строении дельты Лены / Р. О. Галабала // Четвертичный период Северо-Востока Азии. Магадан: Изд-во СО АН СССР. – 1987. – С. 152–171.
4. Коротаев, В. Н. Палеогеоморфологический анализ дельтовой равнины р. Енисей / Л. М. Гаррисон, В. Н. Коротаев, А. Ю. Сидорчук // Вестн. Моск. ун-та. Сер. География. –1981. –№ 6. –С. 103–109.
5. Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования / Под ред. Н.И. Алексеевского. М.: ГЕОС. – 2007. – 585 с.
6. Григорьев, М. Н. Криоморфогенез устьевой области р. Лены. / М. Н. Григорьев // Якутск: Изд-во СО РАН. – 1993. – 176 с.
7. Каплин, П. А. Новейшая история побережий Мирового океана / П. А. Каплин // М.: Изд-во Моск. ун-та. – 1973. – 265 с.
8. Каплин, П. А. Изменения уровня морей России и развитие берегов: прошлое, настоящее и будущее / П. А. Каплин, А. О. Селиванов // М.: ГЕОС. – 1999. – 299 с.
9. Коржуев, С. С. Геоморфология речных долин и гидроэнергетическое строительство / С. С. Коржуев // Новосибирск: Наука. – 1979. – 175 с.
10. Коротаев, В. Н. Формирование гидрографической сети Ленской дельты в голоцене / В. Н. Коротаев // Вестн. Моск. ун-та. Сер. География. – 1984. – № 6. – С. 39–44.
11. Коротаев, В. Н. Состав и распределение руслового аллювия р. Яны / В. Н. Коротаев // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 1999. – № 3. – С. 87–41.
12. Коротаев, В. Н. Эстуарно-дельтовые системы / В. Н. Коротаев // Геоморфология. – 2008. – № 3. – С.55–65.
13. Коротаев, В. Н. Седиментационные устьевые системы / В. Н. Коротаев // Геоморфология. – 2012. – № 4. – С. 12-22.
14. Коротаев, В. Н. Очерки по геоморфологии устьевых и береговых систем / В. Н. Коротаев. – М.: Географ. ф-т МГУ. – 2012. – 540 с.
15. Формирование дельты р. Яны и прогноз развития ее устьевых баров / В. Н. Коротаев, Р. В. Лодина, В. А. Милошевич и др. // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та. – 1978. – Вып. 6. – С. 123–159.
16. Коротаев, В. Н. Процессы дельтообразования в устьевой области Енисея и влияние на них хозяйственных мероприятий / В. Н. Коротаев, В. Н. Михайлов, А. Ю. Сидорчук // Вестн. Моск. ун-та. Сер.5. География. – 1987. – № 5. – С. 72–77.
17. Гидролого-морфологические процессы, динамика гидрографической сети и русловые деформации в дельте р. Лены / В. Н. Коротаев, В. Н. Михайлов, Д. Б. Бабич и др. // Эрозия почв и русловых процессов. М.: Изд-во Моск. ун-та. – 1990. – Вып. 10. – С. 120–144.
18. Михайлов, В. Н. Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее / В.Н. Михайлов// М.: ГЕОС. – 1997. – 413 с.
19. Михайлов, В. Н. Речные дельты (Гидролого-морфологические процессы) / Михайлов В.Н., Рогов М.М., Чистяков А.А. // Л.: Гидрометеиздат. – 1986. – 280 с.
20. Нижняя Яна: устьевые и русловые процессы / Ю. А. Долженко, В. Н. Коротаев, Р. С. Чалов и др. – М.: ГЕОС. – 1998. – 212 с.
21. Are, F., Reimnitz, E. An overview of the Lena River Delta setting geology, tectonics, geomorphology and hydrology // J. Coastal Research. 2000. Vol. 16. No. 4. P. 1083–1093.
22. Broussard, M. L. Deltas, Models for explanation // Houston Geological Society. 1975. 555 p.
23. Li Congxian. Deltaic sedimentation // Modern Sedimentation in Coastal and Nearshore Zone of China, China Ocean Press Beijing. 1986. P. 230-376.
24. Walker, H.J. Arctic Deltas // J. Coastal Research. 1998. Vol. 14. No. 3. P. 718–738.

References

1. Alekseev, M. N. Stratigrafija kontinental'nyh neogenovyh i chetvertichnyh otlozhenij Viljujskoj vpadiny i doliny nizhnego techenija reki Leny / M. N. Alekseev // Trudy GIN., 1961. – Vyp. 51. – 119 s.
2. Proishozhdenie i razvitie del'ty reki Leny/ D. Ju. Bol'shijanov, A. S. Makarov, V. Shnajder, G. Shtof // Sankt-Peterburg: Izd-vo AANII. – 2013. – 268 s.
3. Galabala, R. O. Novye dannye o stroenii del'ty Leny / R. O. Galabala // Chetvertichnyj period Severo-Vostoka Azii. Magadan: Izd-vo SO AN SSSR. – 1987. – S. 152–171.
4. Korotaev, V. N. Paleogeomorfologicheskij analiz del'tovoj ravniny r. Enisej / L. M. Garrison, V. N. Korotaev, A. Ju. Sidorchuk // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. Geografija. –1981. –№ 6. –S. 103–109.
5. Geojekologicheskoe sostojanie arkticheskogo poberezh'ja Rossii i bezopasnost' prirodopol'zovanija / Pod red. N.I. Alekseevskogo. M.: GEOS. – 2007. – 585 s.
6. Grigor'ev, M. N. Kriomorfogenez ust'evoj oblasti r. Leny. / M. N. Grigor'ev // Jakutsk: Izd-vo SO RAN. – 1993. – 176 s.
7. Kaplin, P. A. Novejšaja istorija poberezhij Mirovogo okeana / P. A. Kaplin // M.: Izd-vo Mosk. un-ta. – 1973. – 265 s.
8. Kaplin, P. A. Izmenenija urovnja morej Rossii i razvitie beregov: proshloe, nastojashhee i budushhee / P. A. Kaplin, A. O. Selivanov // M.: GEOS. – 1999. – 299 s.
9. Korzhuev, S. S. Geomorfologija rechnyh dolin i gidrojenergeticheskoe stroitel'stvo / S. S. Korzhuev // Novosibirsk: Nauka. – 1979. – 175 s.
10. Korotaev, V. N. Formirovanie gidrograficheskoj seti Lenskoj del'ty v golocene / V. N. Korotaev // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. Geografija. – 1984. – № 6. – S. 39–44.
11. Korotaev, V. N. Sostav i raspredelenie ruslovogo alljuvija r. Jany / V. N. Korotaev // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografija. – 1999. – № 3. – S. 87–41.
12. Korotaev, V. N. Jestuarno-del'tovye sistemy / V. N. Korotaev // Geomorfologija. – 2008. – № 3. – S.55–65.
13. Korotaev, V. N. Sedimentacionnye ust'evye sistemy / V. N. Korotaev // Geomorfologija. – 2012. – № 4. – S. 12–22.
14. Korotaev, V. N. Oчерki po geomorfologii ust'evyh i beregovyh sistem / V. N. Korotaev // M.: Geograf. f-t MGU. – 2012. – 540 s.
15. Formirovanie del'ty r. Jany i prognoz razvitija ee ust'evyh barov / V. N. Korotaev, R. V. Lodina, V. A. Miloshevich i dr. // Jerozija pochv i ruslovyje processy. M.: Izd-vo Mosk. un-ta. – 1978. – Vyp. 6. – S. 123–159.
16. Korotaev, V. N. Processy del'toobrazovanija v ust'evoj oblasti Eniseja i vlijanie na nih hozjajstvennyh meroprijatij / V. N. Korotaev, V. N. Mihajlov, A. Ju. Sidorchuk // Vestn. Mosk. un-ta. Ser.5. Geografija. – 1987. – № 5. – S. 72–77.
17. Gidrologo-morfologicheskie processy, dinamika gidrograficheskoj seti i ruslovyje deformacii v del'te r. Leny / V. N. Korotaev, V. N. Mihajlov, D. B. Babich i dr. // Jerozija pochv i ruslovyh processov. M.: Izd-vo Mosk. un-ta. – 1990. – Vyp. 10. – S. 120–144.
18. Mihajlov, V. N. Ust'ja rek Rossii i sopredel'nyh stran: proshloe, nastojashhee i budushhee / V. N. Mihajlov// M.: GEOS. – 1997. – 413 s.
19. Mihajlov, V. N. Rechnye del'ty (Gidrologo-morfologicheskie processy) / Mihajlov V.N., Rogov M.M., Chistjakov A.A. // L.: Gidrometeoizdat. – 1986. – 280 s.
20. Nizhnjaja Jana: ust'evye i ruslovyje processy / Ju. A. Dolzhenko, V. N. Korotaev, R. S. Chalov i dr. – M.: GEOS. – 1998. – 212 s.
21. Are, F., Reimnitz, E. An overview of the Lena River Delta setting geology, tectonics, geomorphology and hydrology // J. Coastal Research. 2000. Vol. 16. No. 4. P. 1083–1093.
22. Broussard, M. L. Deltas, Models for explanation // Houston Geological Society. 1975. 555 p.
23. Li Congxian. Deltaic sedimentation // Modern Sedimentation in Coastal and Nearshore Zone of China, China Ocean Press Beijing. 1986. P. 230–376.
24. Walker, H.J. Arctic Deltas // J. Coastal Research. 1998. Vol. 14. No. 3. P. 718–738.

Сведения об авторах

КОРОТАЕВ Владислав Николаевич – д.г.н., с.н.с., в.н.с. НИЛ эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: vlaskor@mail.ru

KOROTAEV Vladislav Nikolaevich – Doctor of Geological Sciences, Leading Researcher, N.I. Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Stream Processes, Lomonosov Moscow State University.

ПОМОРЦЕВ Олег Александрович – к.г.н., доцент по кафедре мерзлотоведения, доцент кафедры «Прикладная геология» ГРФ СВФУ им. М.К. Аммосова.

E-mail: olegpomortsev@mail.ru

POMORTSEV Oleg Aleksandrovich – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Permafrost Studies, Department of Applied Geology, Ammosov North-Eastern Federal University.