

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 556.54:551.486.6:528.8

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ДЕЛЬТЫ ЛЕНЫ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ¹

© 2019 г. В. И. Кравцова^{1,*}, А. Н. Инюшин^{1,**}

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Москва, 119991 Россия

e-mail: *valentinamsu@yandex.ru; **stormy94@mail.ru

Поступила в редакцию 01.10.2018 г.

После доработки 01.10.2018 г.

Принята к печати 26.04.2019 г.

Предпринято исследование динамики морского края дельты Лены с конца XX в. по настоящее время по космическим снимкам со спутника Landsat. Сравнение разновременных снимков, выполненное по морфологически различным участкам морского края дельты, показало стабильность большей части дельты. Минимальные изменения обнаружены в районах устьев проток, получающих меньшую долю стока Лены, — Оленекской и Туматских. В восточной части дельты, в районе устьев многоводных проток Трофимовской и Быковской, изменений нет, так же как и в западной части, представляющей собой включенный в дельту участок абразионной морской террасы. В юго-западной части, в Оленекской дельте, зафиксирован размыв морского края с переносом материала размыва вдольбереговым течением на восток. В районе устьев Туматской протоки отмечено неустойчивое состояние форм морской аккумуляции, а в северо-восточной части дельты — небольшой локальный размыв морской террасы. Периоды размыва на участках в разных районах дельты не синхронны, а площади его невелики. Приращения суши, выдвигания берега нигде не обнаружено.

Ключевые слова: дельта, морской край, динамика, космические снимки.

DOI: 10.31857/S0321-0596466567-574

ИЗУЧЕННОСТЬ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Дельта Лены — крупнейшая в России (и вторая в мире по величине после Миссисипи), площадью ~30 тыс. км², за последние 5–7 тыс. лет (во второй половине голоцена) выдвинулась в море Лаптевых на 120–150 км [8]. За это время наносы реки заполнили образовавшийся в максимальной фазе послеледниковой трансгрессии приустьевой залив, причленив к суше крупный островной участок абразионной морской террасы и острова едомы — приморской равнины, сложенной ледовым комплексом [9]. Это определило сложное морфологическое строение дельты. Аккумулятивный конус ее восточной части образован густой сетью радиально расходящихся рукавов (неправильно называемых здесь протоками) — Быковской протоки, ответвляющейся от главного русла на юго-восток, Трофимовской протоки — на восток и северо-восток, Туматской — на север, а также отходящей

на запад Оленекской протоки. Западная часть дельты между северными и западными рукавами не создана речной аккумуляцией и генетически представляет собой инородное дельте тело — включенную в нее абразионную морскую террасу; таковы же и останцы едомы, сохранившиеся в виде островов между рукавами дельты.

История развития и динамика дельты в позднем голоцене хорошо изучена в работах устьевой партии Комплексной эрозионно-руслевой экспедиции географического факультета МГУ в 1979–1981 гг. [10] и при выполнении в 1998–2012 гг. 15-летнего российско-германского проекта “Природная система моря Лаптевых” [1]. Эта голоценовая история отражена на схемах этапов формирования дельты [1, 9] и геоморфологических картах [1–4]. Однако никаких картографических материалов, отражающих современную динамику дельты и ее морского края, нет.

Попытка количественного определения изменений дельты Лены во второй половине XX в. была предпринята сотрудниками российско-

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проекты 16-05-00288 и 18-05-60221).

германской группы на основе сравнения разновременных топографических карт масштабов 1:200 000, 1:100 000, 1:25 000, аэроснимков масштабов 1:30 000–1:70 000 и космических снимков за период 1950–1991 г., однако изменения не были обнаружены [15]. Это свидетельствует об очень малой изменчивости берегов дельты, возможно, о ее стабильности в этот период.

Ожидаемые тенденции изменений морского края дельты зависят от типа берегов. Карта динамики типов берегов моря Лаптевых, созданная в процессе работ российской-германской экспедиции [11, 14], относит побережье западной части дельты к медленно отступающим термоабразионным берегам, а восточной с устьями Быковской, Трофимовской, Туматской проток — к выдвигающимся аккумулятивным дельтовым берегам. На более детальной карте в монографии по геоэкологическому состоянию арктического побережья России [6] западные берега включенной в дельту абразионной морской террасы, ограниченные протяженным баром, отнесены к аккумулятивным лагунным, а берега восточной части дельты рассматриваются как аккумулятивные дельтовые. В местах выхода к морскому краю останцов едомы (ледового комплекса) в районе устья Оленекской протоки и на п-ове Быковском показаны небольшие участки термоабразионных берегов. Именно эту карту авторы статьи приняли за основу типизации берегов. Судя по ее данным, на разнотипных берегах морского края дельты возможны разнонаправленные процессы аккумуляции и абразии.

К разногласиям исследователей в определении типа берегов добавляются противоречивые взгляды на аккумуляцию в дельте приносимых рекой наносов [12]. Суммарные потери взвешенных наносов в дельте, по данным Комплексной эрозионно-русловой экспедиции лаборатории русловых процессов МГУ, оценивались в 83–90% [10]. В последующем эта оценка смягчилась: по мнению В.Н. Коротаева [3, 9], 70% материала аккумуляруется в дельте. Однако, по наблюдениям российско-германской экспедиции, большая часть приносимых рекой взвешенных наносов не оседает в дельте, а достигает моря [15]. На основе анализа мутности речных вод гидрологами МГУ выполнено уточнение суммарных потерь взвешенных наносов в дельте до величины 40–65% [7].

Попыток выявления динамики морского края дельты после 1991 г. не предпринималось. Между тем качество космических снимков с этого времени улучшилось, на спутниках Landsat исполь-

зуются новые каналы съемки — ближний синий (coastal), позволяющий наблюдать подводные объекты, канал в среднем инфракрасном диапазоне, четко разделяющий воду и сушу; появились снимки очень высокого разрешения. Это побудило авторов попытаться выявить изменения морского края дельты Лены за следующий временной интервал — с конца XX в. до настоящего времени, что и составляет основную задачу данной работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Выбор космических снимков и их первичная обработка

Слабая изменчивость дельты требует тщательного подбора материалов. В силу своего северного положения дельта покрыта снегом и льдом с октября по конец мая. В июне–июле имеет место мощное и многоводное половодье. Таким образом, для дешифрирования подходят только снимки со второй половины июля по сентябрь. В условиях Арктики получение безоблачных снимков для всей площади дельты за столь малый период проблематично. Приходится выбирать безоблачные фрагменты снимков, используя для разных участков морского края дельты снимки за разные временные интервалы.

Наиболее подходящими для исследования представляются имеющиеся в открытом доступе снимки со спутников Landsat-7, работающего с 1999 г., и Landsat-8, начавшего работать с 2013 г. Аппаратура этих спутников — сканирующие системы ETM+ и OLI, обеспечивающие разрешение 30 м для многозональных снимков и 15 м для панхроматических, имеют ценные для дешифрирования береговой зоны каналы: ближний синий (coastal), в котором проникновение солнечных лучей на глубину в первые метры обеспечивает отображение отмелей, и средний инфракрасный, в котором четко разделяются вода и суша. Для расширения временного охвата удалось использовать один из самых ранних снимков с первого спутника Landsat-1 1973 г., полученных системой MSS с разрешением всего 80 м. Привлечены также снимки с американского разведывательного спутника KeyHole 1980 г. Опробованы также многозональные снимки со спутника Sentinel, имеющие лучшее разрешение (10 м). Но в связи с появлением этого спутника лишь в 2012 г. они использовались только для более детального анализа современной ситуации, но не для определения изменений.

*Природное районирование
территории дельты*

Дельта Лены, огромная по площади, имеет сложное морфологическое строение, и на протяжении ее морского края, длина которого составляет 1547 км, характер берегов меняется. Поэтому на первом этапе выполнено природное районирование дельты с целью в последующем выделить участки морского края, в пределах которых можно было ожидать проявления определенных тенденций динамики. На основании детального анализа космических снимков в информационной системе GoogleEarth [5], а также с учетом геоморфологических карт дельты Лены, составленных В.Н. Коротчаевым [3, 4], схемы геоморфологического строения устьевой области Лены М.Н. Григорьева [2], геоморфологической карты А.С. Макарова из монографии [1], карты земных покровов, составленной по космическим снимкам [16] и описаний поверхности, приводимых в этих работах, авторами настоящей статьи выполнено природное районирование территории дельты. При выделении районов учтены генезис отдельных участков территории дельты, типы и формы рельефа поверхности, развитие рельефообразующих процессов, почвенно-растительный покров. Выделенные природные районы показаны на рис. 1.

На основе схемы районирования территории дельты ее морской край разделен на 7 генетически и морфологически однородных участков, по которым в дальнейшем выполняется анализ динамики морского края дельты по разновременным космическим снимкам. Для каждого исследуемого участка дельты Лены удалось подобрать от 2 до 7 разновременных снимков, и из них необходимо было выбрать наиболее подходящие для исследования динамики. По возможности использовались снимки, полученные в сходных погодных условиях, поскольку даже средний по силе, но устойчивый ветер мог вызвать заметное изменение береговой линии в результате обнажения или погружения под воду участков отмелей. Поэтому для каждого снимка учитывались погодные условия в момент съемки — направление ветра, его средняя и максимальная скорость, а также устойчивость. В качестве источника метеорологических данных использовалась автоматизированная информационная система обработки режимной информации (АИСОРИ) ВНИИГМИ-МЦД, где доступен архив погоды по всем метеостанциям России. Для дельты Лены использовалась метеостанция Тикси.

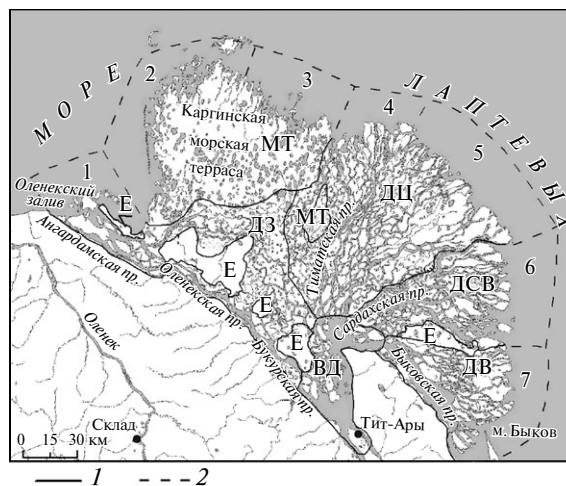


Рис. 1. Схема дельты Лены: 1 — границы природных районов, 2 — границы участков морского края. На схеме подписаны индексы районов, охарактеризованных в тексте, и номера участков, по которым выполнено исследование динамики морского края. ВД — вершина дельты с расширением основного потока до 7–8 км и обширными песчаными отмелями; ДЦ — центральная часть основного дельтового конуса с исключительно густой сетью нешироких сильно ветвящихся рукавов, в основном Туматской протоки, с небольшими устьевыми расширениями; ДСВ — северо-восточная часть основного дельтового конуса с полноводными рукавами Трофимовской и Сардахской проток с широкими устьевыми расширениями; ВД — восточная часть дельтового конуса с широкими полноводными рукавами протоки Быковской, выдвигающейся в залив Неелова; ДЗ — западная часть дельты с протоками Оленекской и Арынской, образующими в приморской части дельты выполнения эстуарного залива; МТ — морская абразионная терраса, оказавшаяся включенной в дельту при заполнении отделявших ее от берега заливов; Е — останцы едомы — приморской равнины, сложенной ледовым комплексом.

Дешифрирование береговой линии дельты в основном проводилось по снимкам в среднем инфракрасном канале, а в районах распространения отмелей необходимо было обращаться к снимкам в синем диапазоне спектра (канал Coastal на спутнике Landsat-8). Результаты дешифрирования разновременных пар снимков объединяли таким образом, чтобы участки увеличения и уменьшения площади дельты окрашивались в разные цвета. Результатом этой работы служили схемы динамики для эталонных фрагментов, показывающие изменения на различных участках дельты.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изменения участков морского края дельты

Юго-западный участок, приустьевая область Оленекской и Арынской проток. Эти протоки, соединяясь, образуют дельту выполнения Оле-

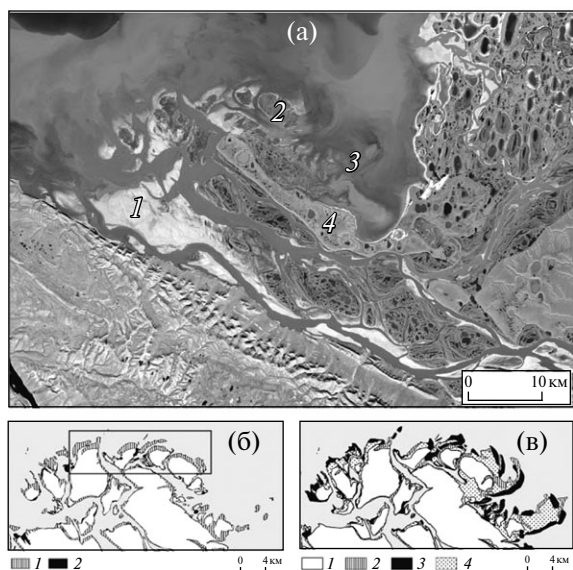


Рис. 2. (а) — Оленекская дельта (участок 1) на снимке со спутника Landsat-8: 1 — прирусловые песчаные отложения, 2 — устьевые дельтовые острова, 3 — отмели, 4 — останец едомы; (б) — схема динамики Оленекской дельты за 1980–2015 гг.: 1 — размыв дельты, 2 — прирост дельты (рамкой выделен участок для определения количественных характеристик динамики); (в) — схема динамики отмелей вблизи Оленекской дельты: 1 — граница дельты, 2 — размыв отмелей, 3 — отложение материала отмелей, 4 — поверхность сохранившихся отмелей.

некского эстуарного залива, восточная часть которого носит название залива Куба (рис. 2а). В.Н. Коротаев показывает на своей карте устьевой бар на подводном продолжении Ангардамской протоки на расстоянии 5–7 км от устьевом створа. Большианов и др. [1] по наблюдениям экспедиции 1990–2005 гг. отмечают образование здесь современного деревянного пляжа, формирующегося в результате переработки и измельчения плавниковой древесины. Это говорит об избыточном отложении наносов. Сток воды по Оленекской протоке, составляющий всего 6.4% общего стока Лены, к устью уменьшается до 65% по сравнению с ее истоком [7], а прекращение навигации в Оленекской протоке свидетельствует о постепенном отмирании ее конечного участка [1]. Таким образом, при анализе разновременных снимков здесь можно было бы ожидать дальнейшей аккумуляции наносов и выдвигания устьевом участка в море. Тем не менее при сравнении разновременных космических снимков никакого дальнейшего выдвигания устьевых дельтовых островов не зафиксировано и, напротив, обнаружен размыв их мористой части.

На рис. 2б, где представлен результат совмещения снимков 1980 и 2015 гг., зафиксирована достаточно широкая полоса размыва. Однако

анализ снимков в пределах этого длительного интервала показывает, что этот размыв произошел уже между 1980 и 2003 гг., а с 2003 по 2015 г. изменения минимальны. Для измерения количественных характеристик динамики выделен небольшой фрагмент с четырьмя крупными островами в северной части участка. Сокращение площади этих островов за 1980–2015 гг. составило 16.5 км², береговая линия отступила на 500–700 м при среднегодовом отступании 15–20 м/год. Но, учитывая, что размыв произошел в интервале между 1980 и 2003 г., среднегодовое отступление к 2003 г. составляло 20–30 м/год.

Однако материал размыва островов дельты не уносится в море, а остается вблизи берегов дельты, но смещается вдольбереговым течением в восточном направлении. В зал. Куба, с 1980 по 2010 г. отмечен явный прирост отмелей, восточная граница которых достаточно четко выделяется на снимках. Схема на рис. 2в показывает перемещение отмелей в восточном направлении в среднем на 500–600 м с незначительным их увеличением. Таким образом, на небольшом участке Оленекской дельты проявились процессы как размыва, так и аккумуляции материала вблизи берега.

Другая особенность этого участка дельты состоит в том, что в него оказался включенным останец едомы между Арынской протокой и заливом Куба, к которому обрывается береговой уступ едомы. Здесь, как и на других берегах моря Лаптевых, сложенных ледовым комплексом, можно было ожидать активизации процессов термоабразии и отступления берега. Однако изменений за исследуемый период здесь не произошло.

Западное побережье морской террасы Арга-Муора-Сисе (другое употребляемое в литературе название — Каргинская морская терраса) (рис. 3, 1). Как указывалось выше, эта территория генетически не является дельтой; это останец абразионной морской террасы, оказавшийся включенным в дельту в результате заполнения наносами заливов, отделявших его от берега. На расстоянии 3–5 км от береговой линии на всем протяжении участка террасу окаймляет меридионально вытянутая цепочка береговых баров, за которыми со стороны суши тянутся песчаные отмели шириной до 1 км. Поскольку поверхность морской абразионной террасы осложнена термокарстовыми озерами и котловинами, то внутренний берег образовавшейся за баром лагуны, поднимающийся до 10 м, изрезан овальными заливами и выступами между ними, окаймленными полосой песчаных отмелей шириной

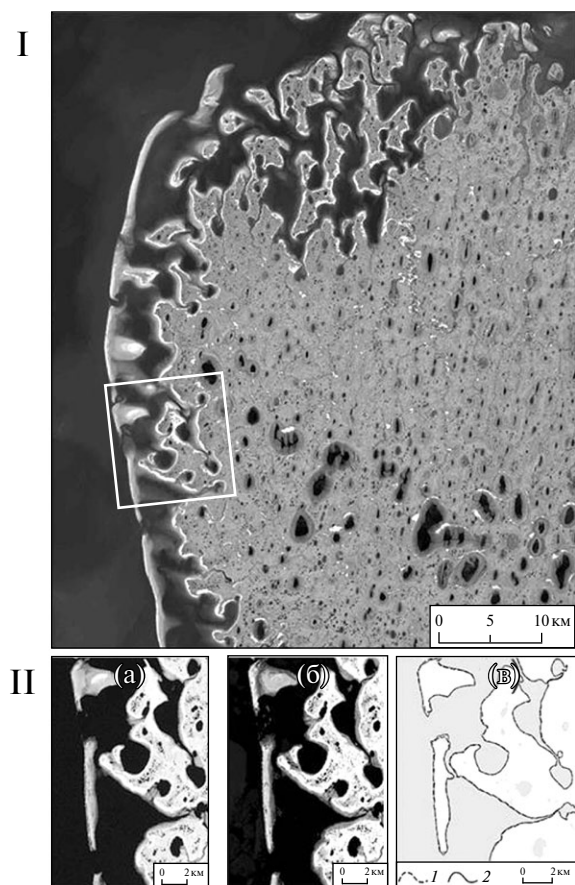


Рис. 3. Западный берег морской террасы Арга-Муро-Сисе (участок 2) на снимке со спутника Sentinel-2 (I); фрагменты участка на снимках со спутника Landsat 2001 г. (а), 2017 г. (б) и береговые линии за эти годы (в): 1 — 2001 г., 2 — 2017 г. (II).

0.5 км; по рисунку он напоминает шхерный тип берега [1]. При анализе разновременных космических снимков следовало ожидать возможного волнового размыва мористых участков бара и отложения материалов размыва на его обращенной к берегу стороне, а на самом побережье — его дальнейшего расчленения при активизации процессов термоабразии и термоденудации. Однако образовавшийся здесь рельеф оказывается весьма стабильным. При анализе разновременных карт и снимков за 1969–2001 гг. в [13] уже было зафиксировано неизменное положение берегового бара и рисунка лагунного берега. Выполненное авторами настоящей статьи сравнение космических снимков за 2001–2017 гг. также показало полную идентичность рисунка береговой линии за разные даты. На рис. 3 (II) приведены снимки в среднем инфракрасном диапазоне фрагмента участка за 2001 и 2017 гг., а также показаны береговые линии за эти годы, которые полностью совпадают. Такое же четкое совпадение береговых линий обнаруживается и на снимках за другие годы в этот период.

Абразионная морская терраса, оказавшаяся включенной в дельту (участок также не относится к аккумулятивному конусу дельты Лены). Северный берег морской террасы изрезан вторгающимися в сушу узкими ингрессионными заливами, образовавшимися при выходе к морю продольных ложбин северного простирания, расчленяющих поверхность террасы с термокарстовыми озерами и котловинами. Рисунок побережья напоминает рисовый [1]. Этот участок, как и предыдущий, на карте берегов моря Лаптевых отнесен Ф. Арэ [11] к абразионным берегам. Промерзание песчаной толщи морской террасы может стимулировать развитие на берегах термоабразионных процессов при потеплении. Поэтому здесь можно было ожидать проявления термоабразии, характерной для многих участков ледовых берегов моря Лаптевых. Однако, как и на предыдущем участке, снимки за 2001 и 2017 гг., как и в промежуточные годы, показали полное повторение рисунка береговой линии, высокую стабильность участка. Изменений береговой линии здесь не обнаружено.

Остальные участки МКД (4–7) относятся к северному, северо-восточному и восточному побережью обширного дельтового конуса Лены и на всех упомянутых выше картах типов берегов отнесены к аккумулятивным дельтовым берегам. Они различаются ориентацией берега, временем образования дельтовой лопасти, показателями стока и твердого стока водотоков, определяющих процессы динамики берега.

Северный участок Туматской части дельтового конуса включает в себя береговую линию между крайним левым рукавом Туматской протоки, ограничивающим Каргинскую морскую террасу, и крайним правым рукавом той же протоки. В соответствии с исследованиями российско-германской экспедиции это относительно молодой участок формирования дельты — ее возраст 1500–500 лет [1]. Сток в Туматскую протоку даже в узле разветвления у о. Столб составляет лишь 6.2% общего стока Лены, из этого до устья доходит лишь 6%, а 52% переходит в Арынскую протоку [7]. Поэтому здесь неширокие (по сравнению с другими участками дельты) рукава, образующие густую сеть, заканчиваются небольшими устьевыми расширениями. Характерен в целом округлый, выпуклый контур дельты выдвигения, иногда с причлененными морскими формами аккумуляции [2], имеющими направление вдоль берега. На снимках за разные годы эти формы то появляются, то исчезают (рис. 4), наблюдается разное положение береговых линий, причем в разные стороны —

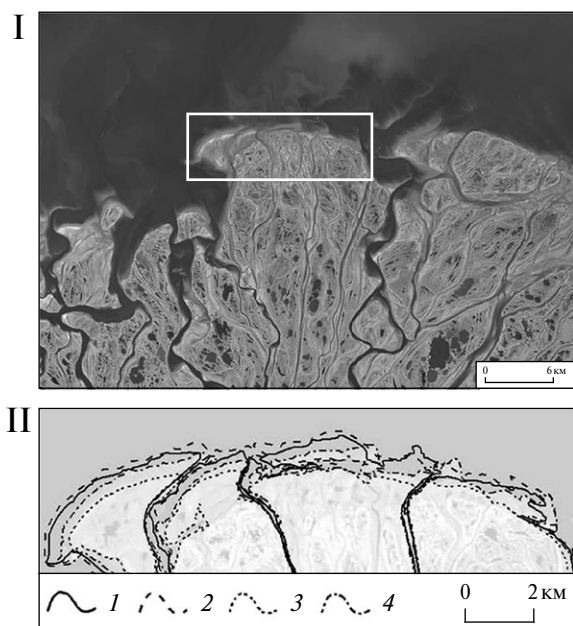


Рис. 4. Северный берег дельты с устьями Туматских проток (участок 4) на снимке со спутника Sentinel-2 (I), рамкой выделен фрагмент для определения положения береговых линий в разные годы. Береговые линии на снимках за разные годы: 1 — 2000 г., 2 — 2005 г., 3 — 2013 г., 4 — 2017 г. (II).

то выдвигание береговой линии более чем на 100 м, то ее отступление до 450 м. Связано это с влиянием сгонно-нагонных ветров и состоянием моря в момент получения снимков.

Северо-восточный участок дельты — область развития левых рукавов Трофимовской протоки с менее густой по сравнению с остальной дельтой сетью относительно нешироких, но сильно извилистых рукавов. Этот участок морского края дельты прямолинейен и ориентирован с СЗ на ЮВ, так же как и вдольбереговой поток наносов. Д.Ю. Большианов и др. [1] считают, что прямолинейность этого участка берега указывает на его абразионный характер, срезание берега вдольбереговым течением. При сравнении снимков 2005 и 2016 гг. обнаружен небольшой размыв берега на участке морского края протяженностью 5–10 км (рис. 5). Его площадь составляет 0,9 км². Береговая линия отступила здесь на 150–300 м, среднегодовое отступление за 2005–2016 гг. составляет 15–30 м/год. Следует отметить, что для данного участка дельты характерны сравнительно небольшие водотоки, и колебания стока Лены могли приводить к прекращению поступления воды в них, создавая условия для более сильного развития морских процессов и размывания берега вдольбереговым течением. Средняя скорость отступления береговых линий на данном участке сопоставима с выявленной на участке 1, где отступление наблю-

далось в 1980–2003 гг., т.е. процессы размыва на разных участках проходили примерно с одинаковой интенсивностью, хотя и не синхронно.

Восточная часть дельты Лены между устьями Трофимовской и Сардахской проток, наиболее широких и многоводных, поглощающих >60% стока Лены. Береговая линия этого участка вытянута в меридиональном направлении и значительно изрезана устьевыми расширениями рукавов и дельтовыми лопастями между ними. На рис. 6 приведены береговые линии фрагмента дельты на этом участке за 2006, 2011 и 2016 гг. По схеме видно, что, несмотря на сильную изрезанность береговой линии, в целом ее положение неизменно; участок стабилен.

Юго-восточная часть дельты — арена действия рукавов многоводной Быковской протоки, принимающей на себя 25,1% стока Лены [7]. Быковская протока заполнила своими наносами существовавший в начале голоцена залив, а после поворота русла к югу продолжает заполнение современного зал. Неелова, отгороженного п-овом Быковским. Это наиболее молодой участок дельты возрастом 1500–800 лет [1]. Согласно карте В.Н. Коротаева [4], позднеголоценовые террасы этой части побережья окаймлены формами современной аккумуляции, отдельные острова выдвинулись в зал. Неелова. При анализе разновременных космических снимков важно было проверить, продолжается ли выдвигание этой части дельты в условиях потепления климата и подъема уровня моря. По этому участку удалось найти снимок Landsat-1 за 1973 г. с разрешением 80 м и, используя его, проследить серию береговых линий за 1973, 2005 и 2016 гг. Оказалось, что за 43 года существенных изменений в положении

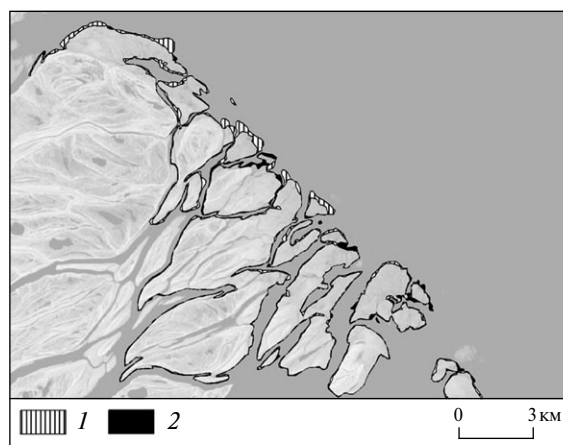


Рис. 5. Схема динамики для фрагмента участка 5 в северо-восточной части дельты с рукавами Трофимовской протоки: 1 — размыв дельты, 2 — прирост дельты.

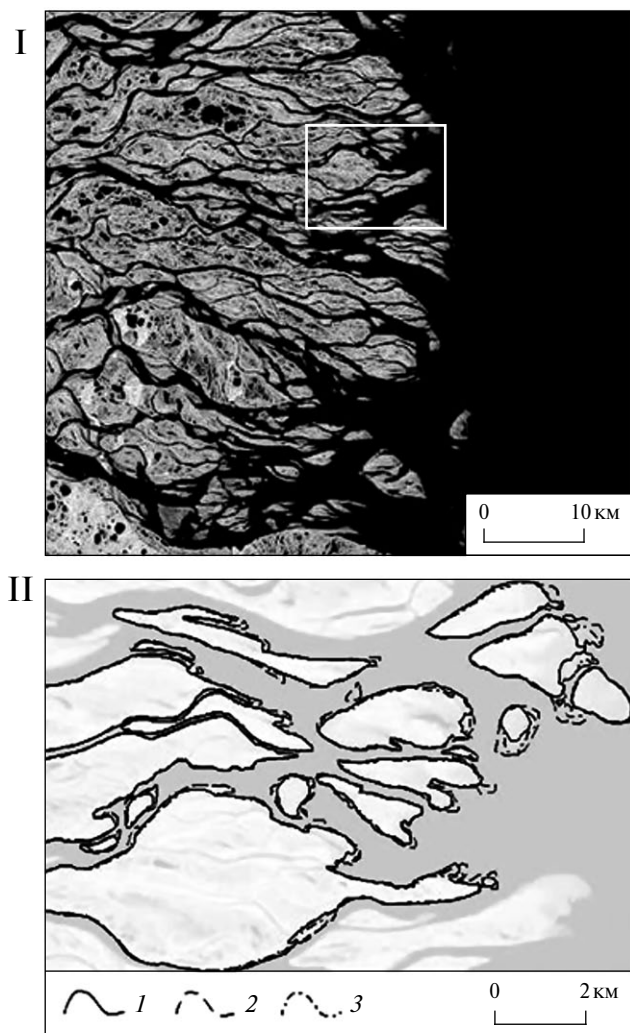


Рис. 6. Восточная часть дельты с устьями рукавов Трофимовской протоки (участок 6) на снимке со спутника Landsat-8 (I); рамкой выделен фрагмент для определения положения береговых линий в разные годы. Береговые линии на снимках в разные годы: 1 — 2000 г., 2 — 2011 г., 3 — 2016 г. (II).

береговой линии не произошло. Большой объем стока при достаточно высоких скоростях течения не способствует отложению наносов в береговой зоне, и морской край дельты оказывается стабильным.

ВЫВОДЫ

Несмотря на характерную для арктических побережий в условиях потепления активизацию абразионных процессов (за счет развития термоабразии и термоденудации на берегах, сложенных ледовым комплексом), крупнейшую в России дельту Лены отличает высокая стабильность. На большей части ее морского края с конца XX в. по настоящее время изменений не произошло. Большой объем стока воды приводит к преобладанию

воздействия речных факторов над морскими при формировании ее дельты.

Участки морского края дельты вблизи устьев многоводных Трофимовской и Быковской протоков, получающих 62.3 и 25.1% стока соответственно, где далеко заходящие в дельту устьевые заливы чередуются с выступами дельтовых лопастей, оставались в исследуемый временной интервал неизменными (учитывая состояние морского края дельты в межлетний период). Не обнаружено изменений и на морском крае причлененной к дельте абразионной морской террасе Арга-Муора-Сисе, как на ее западном лагунном берегу, так и на северо-западном, с ингрессионными риасовыми заливами. Эти стабильные участки берега дельты Лены составляют 97% протяженности ее морского края.

В то же время неравномерность распределения стока по рукавам дельты обуславливает наличие тех минимальных изменений, которые обнаруживаются на 3% морского края дельты (т.е. на протяжении ~46 км), и их некоторую дифференциацию. Эти изменения относятся к районам устьев рукавов, получающих минимальную долю стока Лены, — Оленекской (6.4%) и Туматской (6.2%) протоки.

В западной части дельты, в устье Оленекской протоки, хорошо выражены формы аккумуляции, выдвинувшие в прошлом частную Оленекскую дельту в залив на 10–15 км. Однако с 1980-х гг. выдвигания не происходило, и, напротив, снимки свидетельствуют о небольшом размыве морского края, отступании береговой линии на 500–700 м за 1980–2003 гг. со скоростью 20–30 м/год с одновременным перемещением продуктов размыва вдольбереговыми течениями в восточном направлении в зал. Куба, образованием там отмелей и их последующим расширением и перемещением к берегу.

В северной части дельты, в районе устьев Туматской протоки, на выпуклом участке берега с причлененными морскими формами с 2000 г. наблюдалось неустойчивое положение этих форм, их появление на поверхности и погружение под воду с колебаниями положения береговой линии на 100–400 м; возможно, такое чередование происходило в зависимости от изменений объема стока. На прямолинейном северо-восточном участке берега наблюдается размыв вдольбереговым течением узкой полосы берега на протяжении 10 км с отступанием береговой линии на 150–300 м за 2005–2016 гг. со среднегодовой скоростью 15–30 м/год.

Таким образом, все выявленные минимальные изменения связаны с относительно слабым размывом берега на небольших отрезках или с неустойчивым положением локальных участков, и нигде не обнаружено приращения дельты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большаинов Д.Ю., Макаров А.С., Шнайдер В., Штоф Г.* Происхождение и развитие дельты реки Лены. СПб.: ААНИИ, 2013. 268 с.
2. *Григорьев М.Н.* Криоморфогенез устьевой области р. Лены. Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО РАН, 1993. 176 с.
3. *Кортаев В.Н.* Дельтовая система Лены // Атлас: Морфодинамика устьевых систем крупных рек Арктического побережья России. М.: Географ. фак. МГУ, ИО РАН, 2017. С. 111–116.
4. *Кортаев В.Н.* Очерки по геоморфологии устьевых и береговых систем. Избранные труды. М.: Географ. фак. МГУ, 2012. 540 с.
5. *Кравцова В.И., Митькиных Н.С.* Устья рек России. Атлас космических снимков / Под ред. Михайлова В.Н. М.: Науч. Мир, 2013. 124 с.
6. *Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д.* Берега Карского моря и моря Лаптевых // Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования. М.: ГЕОС, 2007. С. 492–495.
7. *Магрицкий Д.В., Айбулатов Д.Н., Горелкин А.В.* Закономерности пространственно-временной изменчивости стока на предустьевом участке и в дельте р. Лены // Вод. ресурсы. 2018. Т. 45. № 1. С. 15–29.
8. *Михайлов В.Н.* Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее, будущее. М.: ГЕОС, 1997. 413 с.
9. Эстуарно-дельтовые системы России и Китая. Гидролого-морфологические процессы, геоморфология и прогноз развития. М.: ГЕОС, 2007. 445 с.
10. *Alabyan A.M., Chalov R.S., Korotaev V.N., Sidorchuk A.Yu., Zaitsev A.A.* Natural and technogenic water and sediment supply to the Laptev sea // Berichte zur Polarforschung. 1995. № 176. P. 265–271.
11. *Are F.E.* The contribution of shore thermoabrasion to the Laptev Sea sediment balance // Permafrost Seventh Int. Conf. (Proc.). Yellowknife (Canada), Collection Nordicana. № 55. 1998. P. 25–30.
12. *Are F., Reimnitz E.* An overview of the Lena River Delta setting: geology, tectonics, geomorphology, and hydrology // J. coastal res. 2000. V. 16. № 4. P. 1083–1093.
13. *Grigoriev M.N., Are F.E., Hibberten H.-W., Rasumov S.O., Schneider W.* Peculiarities of coastal processes and shoreline dynamics of the accumulative-erosive coastal system in the north-west of the Lena Delta // Ber. Polar und Meeresforsch. 2002. № 426. P. 64–70.
14. *Grigoriev M.N., Rachhold V., Are F.E., Hibberten H.-W., Rasumov S.O., Schneider W.* Coastal dynamics in the western Laptev Sea // Rep. Polar Marine Res. 2001. V. 388. P. 54–59.
15. *Rachhold V., Grigoriev M., Are F., Solomon S., Reimnitz E., Kassens H., Antonow M.* Coastal erosion vs riverine sediment discharge in the Arctic Shelf seas // Int. J. Earth Sci. 2000. V. 89. P. 450–460.
16. *Schneider J., Grosse G., Wagner D.* Land cover classification of tundra environments in the Arctic Lena Delta based in Landsat ETM + data and its application for up-scaling of methane emissions // Remote Sensing Environ. 2009. № 113. P. 380–391.

STUDYING THE PRESENT-DAY DYNAMICS OF LENA DELTA BY SPACE IMAGES

© 2019 V. I. Kravtsova^{1,*}, A. N. Inyushin^{1,**}

¹Moscow State University,
Moscow, 119991 Russia

e-mail: * valentinamsu@yandex.ru; **stormy94@mail.ru

Received: 01.10.2018

Revised version received: 01.10.2018

Accepted: 27.12. 2018

The dynamics of Lena delta coastline since the late XX century up to the present time have been studied using Landsat satellite data. The comparison of different-time images of morphologically different segments of the delta coastline has shown the major portion of the delta to be stable. Minimal changes have been recorded near the mouths of the branches carrying a minor portion of the Lena runoff—the Olenekskaya and Tumatskie. In the eastern part of the delta, near the mouths of copious branches Trofimovskaya and Bykovskaya, no changes have taken place, as well as in its western part, which is represented by a part of abrasion marine terrace embraced by the delta. In the southwestern part, in the Olenek delta, the delta coastline has been eroded with the erosion material transported eastward by along-shore current. Near the mouths of the Tumatskaya branch, the forms of marine accumulation are unstable, and the marine terrace in the northeastern part of the delta shows a minor local erosion. The periods of erosion in different delta areas are not synchronous and the eroded zones are not large in size. No increment in the land, nor shore progradation have been seen.

Keywords: delta, delta coastline, dynamics, space images

DOI: 10.31857/S0321-0596466567-574