

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 551.462 + 911.2

РЕЛЬЕФ ДНА ОБСКОЙ ГУБЫ КАРСКОГО МОРЯ

А.А. Ермолов¹, Г.А. Кажукало², А.И. Носков³, С.А. Огородов⁴^{1,2,4} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория геоэкологии Севера*³ *Маргбургский университет, географический факультет, лаборатория климатологии и дистанционного зондирования Земли, Германия*¹ *Науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: ermolov@geogr.msu.ru*² *Техник; e-mail: kazhukalo@geogr.msu.ru*³ *PostDoc; e-mail: a@n-kov.com*⁴ *Гл. науч. сотр., д-р геогр. наук; e-mail: ogorodov@geogr.msu.ru*

В развитии многолетних исследований авторов в статье представлены результаты углубленного изучения рельефа дна Обской губы Карского моря, уточняющие существующие представления и направленные на решение фундаментальной проблемы реконструкции условий формирования рельефа дна мелководных заливов Карского моря в позднем плейстоцене и голоцене. Целью работы являлось создание региональной характеристики геоморфологического строения дна Обской губы. В качестве исходных данных о рельефе дна использовались морские навигационные карты и промерные планшеты ГУНиО масштаба 1:50 000 – 1:100 000. На основе ручной авторской обработки и интерпретации картографического материала была создана детальная цифровая модель рельефа (ЦМР) дна и батиметрическая карта с сечением изобат через 1,0 м масштаба 1:200 000. При составлении геоморфологической карты помимо батиметрических данных был привлечен большой объем литературных и фондовых материалов по геоморфологии, геологии и геоэкологии региона, а разработка оригинальной морфогенетической легенды велась с учетом сложившихся представлений об условиях формирования рельефа перигляциальных равнин на регрессивном этапе развития шельфа Карского моря. Установлено, что в пределах губы преобладает реликтовый флювиальный рельеф, частично переработанный субаквальными процессами в ходе послеледниковой трансгрессии и на современном этапе. Выявлены важнейшие особенности строения и плановые очертания затопленной пра-долины Оби и древней эрозионной гидросети в целом. Выделенные отдельные формы и элементы рельефа учитывают масштаб объектов и степень их генерализации на карте и дают представление о развитии рельефообразующих процессов как на субаэральном этапе, так и в субаквальных условиях, включая особенности современной динамики рельефа берегов и дна.

Ключевые слова: эстуарий, рельеф дна, цифровая модель рельефа, геоморфологическая карта, история развития рельефа

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.1.7

ВВЕДЕНИЕ

Обская губа Карского моря представляет собой мелководный залив Карского моря, вдающийся в сушу более чем на 800 км. Наибольшая ширина губы достигает 95 км, наименьшая – между мысами Каменный и Парусный – 35 км, общая протяженность береговой линии более 1800 км. По своему происхождению Обская губа – эстуарий, сформировавшийся в ходе послеледниковой трансгрессии. В течение девяти месяцев в году акватория Обской губы покрыта льдом. Высота волн в летне-осенний период обычно не превышает 1–2 м, на выходе в открытое море достигает 3–4 м. Направление и ин-

тенсивность постоянных, приливных, ветровых и иных течений в значительной степени обусловлены влиянием стока рек Оби и Таза и, как и колебания уровня моря, характеризуются ярко выраженной сезонной изменчивостью. Влияние приливов наиболее заметно в северной части губы, с учетом сгонно-нагонных явлений амплитуда колебаний уровня на отдельных участках может достигать 3,0 м.

Освоение разведанных месторождений углеводородного сырья и строительство объектов транспортной и добычной инфраструктуры в Обской губе имеет ключевое значение для обеспечения прогнозируемых объемов российской добычи и повышения гибко-

сти экспортных поставок газа и газового конденсата. Крупнейшие интегрированные проекты по добыче, сжижению и реализации газа «Ямал СПГ» и «Арктик СПГ 2» уже запущены. Завершено строительство подводного перехода магистрального газопровода «Газ Ямала» на участке Новый Порт – Ямбург. На очереди обустройство месторождения Каменномысское-море, ключевым объектом которого станет специальная ледостойкая платформа в центральной части Обской губы, связанная с берегом системой трубопроводов. Оценка условий строительства и риска развития опасных процессов природного и техногенного характера невозможна без учета рельефа дна, истории его формирования и современной динамики.

Масштабные изыскательские и научно-исследовательские работы способствовали накоплению большого объема сведений о различных компонентах природной среды. В исследованиях принимали участие такие организации, как ПНИИИС, АМИГЭ, ААНИИ, МГУ имени М.В. Ломоносова, НПО «Моринжгеология» и многие другие. Существенный вклад в изучение геокриологических и инженерно-геологических условий, литодинамической обстановки внесли исследования 2005–2009 гг. ФГУП «ВНИИОкеангеология» [Слинченков и др., 2009]. Тем не менее опубликованные материалы о рельефе дна Обской губы и рельефообразующих процессах немногочисленны [Ласточкин, 1977; Суздальский, 1983; Попов и др., 1988; Бирюков, Совершаев, 1998; Бирюков и др., 2008]. Не до конца ясными остаются геокриологические условия Обской губы [Трофимов и др., 1980; Дубиков, 2002; Баду, 2011; Рокос и др., 2019; Кокин, Цвезинский, 2013; Рекант, Васильев, 2011], требуют уточнения данные о литологическом составе донных осадков и развитии опасных ледово-экарационных процессов [Огородов, 2011].

Дискуссионными остаются многие вопросы палеогеографии региона и история развития долины пра-Оби. По некоторым оценкам, плиоцен-четвертичные эвстатические колебания уровня моря сопровождались существенной перестройкой гидро-сети, и пра-Обь в эпоху максимальной плиоценовой регрессии впадала в Байдарацкую губу [Ласточкин, 1977; Гатауллин, 1991]. В позднем плейстоцене и голоцене рельеф перигляциальных равнин формировался в условиях деградации оледенения [Матишов, 1987; Бирюков, Совершаев, 1998], трансгрессивного повышения уровня моря и дифференцированных тектонических движений земной коры [Баранская, 2015]. Сочетание этих факторов определило особые условия рельефообразования и осадконакопления на окраине материка и привело к формированию специфических форм рельефа и отложений [Бирюков и др., 1989, 2008; Авенариус и др., 2001; Суздальский, 1983; Жигарев и др., 1984;

Попов и др., 1988], изучение которых является важной задачей фундаментальной науки.

Настоящее исследование направлено на решение вопроса формирования рельефа дна мелководных заливов Карского моря в позднем плейстоцене и голоцене и имеет целью создание региональной характеристики геоморфологического строения дна Обской губы (рис. 1). С этой целью выполнен комплексный геоморфологический и палеогеографический анализ условий и факторов развития перигляциального шельфа, разработана ЦМР дна, проведено среднемасштабное геоморфологическое районирование и картографирование центральной части губы в масштабе 1:200 000.

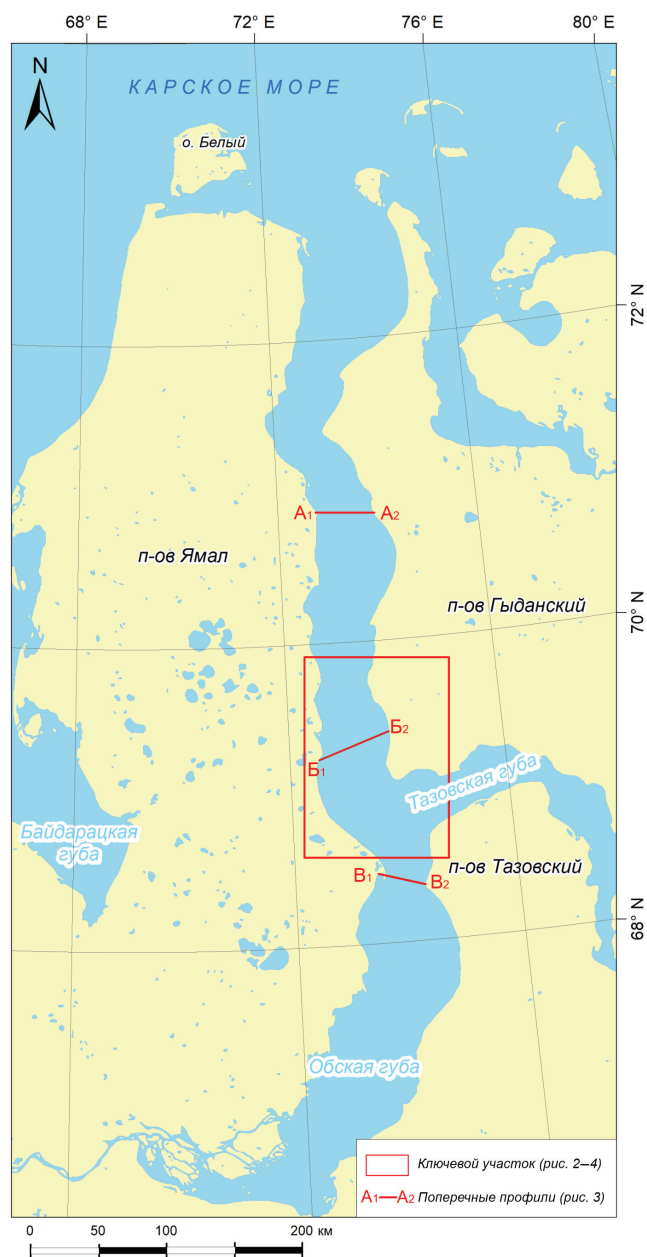


Рис. 1. Местоположение района работ

Fig 1. Location of the study area

При отсутствии доступных для исследователей геологических и океанографических данных геоморфологическая карта является одним из важнейших источников информации о предполагаемом залегании геологических тел, характере распространения донных осадков и реликтов многолетнемерзлых пород, воздействии морских льдов на дно и многом другом. Поэтому особое внимание уделялось вопросам получения достоверной информации о рельефе дна и формированию детальной батиметрической модели рельефа, учитывающей особенности строения и развития отдельных шельфовых областей Карского моря.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Создание цифровой модели рельефа дна Обской губы – батиметрической карты масштаба 1:200 000 (рис. 2) – выполнялось по оригинальной методике, включающей несколько этапов и основанной на ручной авторской обработке и интерпретации картографического материала [Ласточкин, 1982; Никифоров и др., 2007]. В качестве исходных данных об отметках глубин были использованы морские навигационные карты ГУНиО МО РФ масштаба 1:50 000 – 1:100 000. Планово-картографическая основа формировалась на базе навигационной карты масштаба 1:200 000. Картографическое оформление, привязка, оцифровка и редакция авторских оригиналов карт выполнены в среде MapInfo Professional.

Благодаря достаточно крупному масштабу батиметрической карты, удалось не только уточнить, но и существенно детализировать донный рельеф, выявить отдельные формы и их элементы. Соответственно увеличилась и степень информативности геоморфологической карты Обской губы, впервые составленной в масштабе 1:200 000. Помимо батиметрических данных для создания карты был привлечен большой объем литературных и архивных материалов по геоморфологии, геологии и палеогеографии Карского моря с целью выявления морфоструктурных особенностей и генезиса отдельных форм рельефа. Береговая зона изучалась в ходе полевых работ в разные годы, при этом широко использовались данные дистанционного зондирования Земли, фондовые и литературные данные.

Оригинальная морфогенетическая легенда к карте разрабатывалась с учетом сложившихся представлений об условиях формирования рельефа арктических окраин и результатов исследований морфологии дна Печорского моря и Байдацкой губы Карского моря [Авенариус и др., 2001; Бирюков и др., 2008; Бирюков, Огородов, 2003; Печорское море..., 2003; Павлидис и др., 2007]. Морфогенетический подход позволил охватить все важнейшие особенности рельефа с учетом масштаба объектов

и степени их генерализации на карте, а пространственно-временной анализ дополнил общую картину его развития. Важно подчеркнуть, что разработанная карта может быть основой и для других тематических карт Обской губы, таких как карта современных донных осадков, интенсивности воздействия ледяных образований на дно, динамики берегов и др.

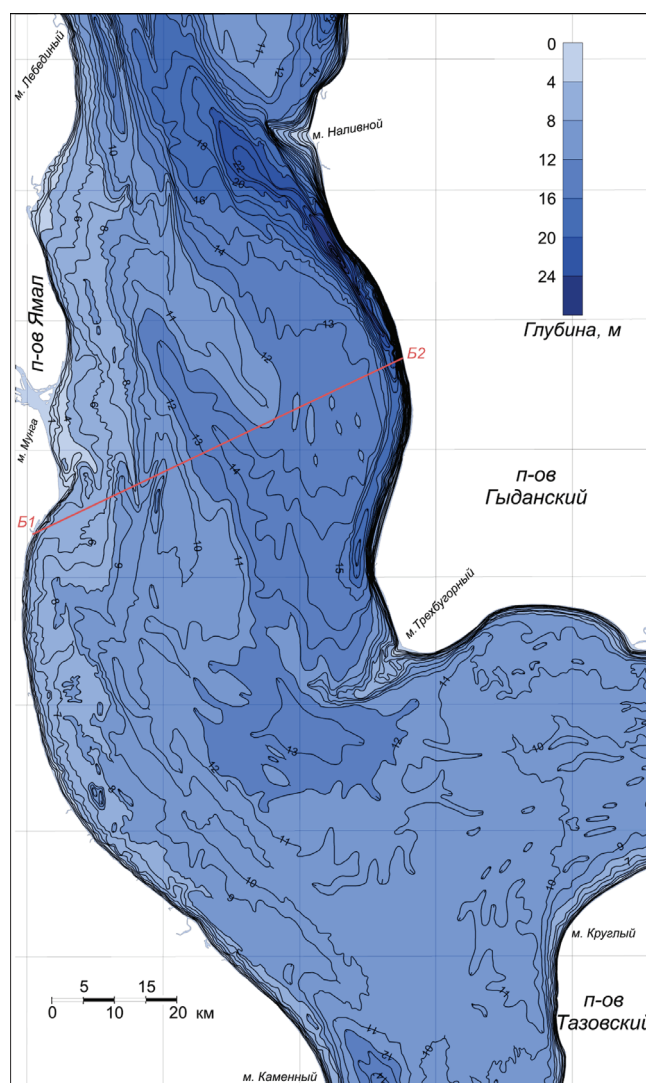


Рис. 2. Фрагмент батиметрической карты Обской губы Карского моря (центральная часть, масштаб оригинала 1:200 000, горизонтали проведены через 1 м)

Fig. 2. Bathymetric map fragment of the Ob Gulf, Kara Sea (central part, original scale 1:200 000, contour lines are drawn every 1 m)

На заключительном этапе геоморфологического картографирования выполнено описание донного рельефа с целью создания региональной характеристики геоморфологического строения дна Обской губы, определения механизмов и основных этапов рельефообразования. Кроме того, с помощью бати-

метрической карты был построен ряд поперечных гипсометрических профилей и проведено трехмерное моделирование рельефа (рис. 3), которое обладает рядом несомненных преимуществ перед плоскими изображениями и является традиционным средством отображения подводных равнин. Наглядная визуальная оценка морфологии и возможность точного морфометрического анализа делают подобные модели удобным инструментом при изучении

рельефа, а сама ЦМР является основой для проведения дальнейших прикладных исследований в области геоакустики, геологии, геокриологии, геоморфологии, геофизики и инженерных изысканий. В рамках данного проекта цифровая трехмерная модель рельефа использована в качестве основы для составления геоморфологической карты, отражающей происхождение, возраст и историю развития рассматриваемой территории.

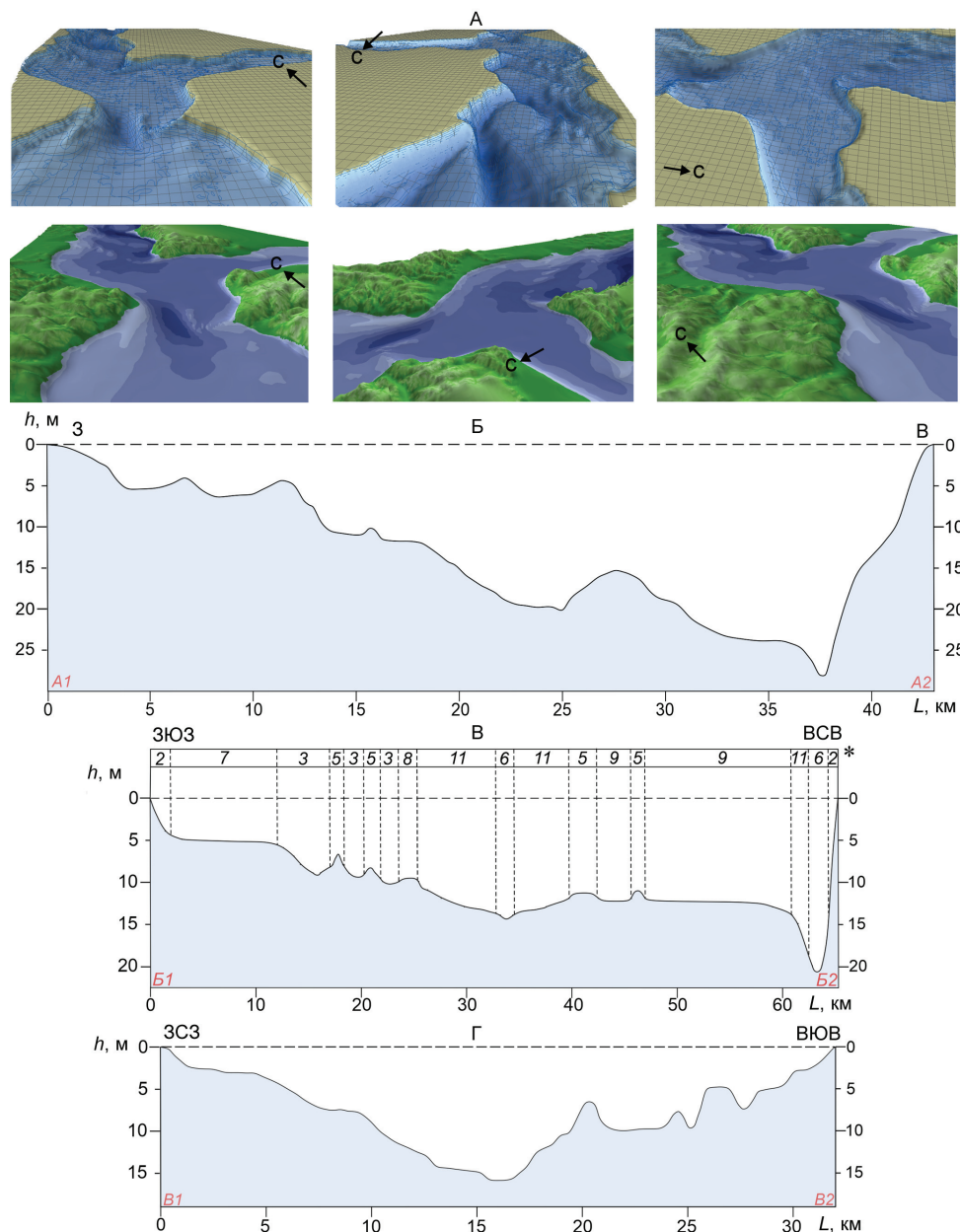


Рис. 3. Отдельные результаты трехмерного моделирования и профилирования рельефа дна Обской губы: А – фрагменты трехмерной модели рельефа центральной части Обской губы в пределах ключевого участка; Б – поперечный профиль северной части губы по линии А₁–А₂ (м. Лебединый); В – поперечный профиль центральной части губы по линии Б₁–Б₂; * – условные обозначения цифровых индексов см. рис. 4; Г – поперечный профиль центральной части губы по линии В₁–В₂ (коса Каменная – м. Парусный)

Fig. 3. Selected results of the Ob Gulf bottom topography obtained via 3D-modelling and profiling: А – three-dimensional elevation model fragments of the central part of the Ob Gulf within key area; Б – transverse profile of the northern part of the gulf along the А₁–А₂ line (cape Lebediny); В – transverse profile of the central part of the gulf along the Б₁–Б₂ line; * – for legend see fig. 4; Г – transverse profile of the central part of the gulf along the В₁–В₂ line (Kamennaya Spit – cape Sailing)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Геоморфологическое строение дна. Обская губа представляет собой затопленную в ходе послеледниковой (фландрской) трансгрессии древнюю долину реки Оби, фрагменты которой и образуют наиболее крупные формы донного рельефа субаэрального происхождения, сочетающиеся с современными формами субаэрального генезиса (рис. 4). Более мелкие субаэральные и полигенетические формы рельефа представлены фрагментами затопленных дельт с частично перемытыми протоками и островами, а также локальными положительными формами.

Основные типы рельефа дна условно можно разделить на две основные группы. К первой относятся пологонаклонные прибрежные морские равнины (аккумулятивные или абразионно-аккумулятивные) в зоне современного волнового воздействия (подводный береговой склон). Ко второй – слабонаклонные преимущественно аккумулятивные морские равнины вне зоны современного волнового воздействия, в пределах которых прослеживаются фрагменты древнего субаэрального рельефа.

Пологонаклонные прибрежные морские равнины (аккумулятивные и абразионно-аккумулятивные) в зоне современного волнового воздействия. Морфологически хорошо выраженной и в известной мере обособленной формой рельефа Обской губы является подводный береговой склон, включающий в том числе аванделту реки Оби. Нечеткая нижняя граница прибрежных аккумулятивных и абразионно-аккумулятивных равнин зоны современного волнового воздействия представляет собой линию перегиба наклонной поверхности берегового склона, переходящего в относительно ровное уплощенное дно. Нередко переход сопровождается изменением гранулометрического состава донных осадков. В соответствии с различной волновой активностью эта условная граница выделяется на глубинах от 6–8 м в южной части губы до 10–12 м в ее средней и северной частях.

В верхней части подводного берегового склона в областях аккумуляции выделяются обширные ветровые и приливные осушки. Аккумулятивные ветровые (сгонные) осушки формируются преимущественно под воздействием талассогенных факторов и достигают максимальных размеров (ширина 0,5–1,0 км и более) в южной дельтовой области, в приустьевых областях рек и зонах конвергенции вдольбереговых потоков наносов, особенно у восточного побережья полуострова Ямал и в самой северной части губы. Ширина приливных осушек редко превышает 50–100 м, сокращаясь на приглубых участках до 20–50 м, относительные превы-

шения в их пределах составляют 0,4–0,6 м [Belova et al., 2023]. Нередко эти регулярно осушаемые поверхности осложнены серией пологовыпуклых береговых валов и межваловых понижений с изменчивой морфологией, как в пространстве, так и во времени. Поперечное перемещение наносов в приустьевой зоне связано также с многочисленными ложбинами, ориентированными согласно направлению приливо-отливных, сгонно-нагонных и волновых течений. Глубина этих образований может достигать 0,5–1,0 м, а ширина – десятков метров. На приустьевых участках рек осушки и подводный склон осложнены каналами стока речных вод.

На участках аккумуляции наряду с широкими осушками развиты бары, подводные валы и косы, а также их подводные продолжения, сформированные при более низком уровне моря. Интересной особенностью Обской губы является существование своеобразной вертикальной зональности в развитии ряда надводных и подводных аккумулятивных форм. Особенно ярко это проявляется на восточном берегу губы – почти все надводные формы (приустьевые выступы, наволоки и отдельные береговые валы) здесь либо не имеют четко выраженной вдольбереговой направленности (например, у мысов Штормовой, Ханарасалья, Харсе), либо вытянуты в южном направлении (как и большинство кос на западном берегу). Это указывает на преобладающее вдольбереговое перемещение наносов с севера на юг в верхней части подводного склона. В нижней же части подводного берегового склона аккумулятивные формы ориентированы преимущественно на север, согласно направлению стокового течения реки Оби. Этому способствуют ветры южной четверти, создающие пониженный уровеньный фон, в результате чего в зону волнового воздействия и транспорта наносов вовлекается нижняя часть подводного склона. В результате в пределах подводного берегового склона формируются два разнонаправленных яруса: верхний с береговыми аккумулятивными формами, ориентированными к югу, и нижний, где аккумулятивные формы направлены к северу. В пределах западной береговой области эта особенность отмечается главным образом на участке севернее устья р. Тамбей.

Подводный береговой склон самой южной, наиболее мелководной части Обской губы (средние глубины 3–4 м) от морского края дельты Оби и примерно до широты Нового Порта представляет собой современную аванделту и является зоной интенсивной аккумуляции. Однако сохранившиеся фрагменты бывших протоков и дельтовых островов позволяют выделить здесь затопленную часть субаэральной прадельты Оби, сформированной при стоянии уровня на 2–3 м ниже современного.

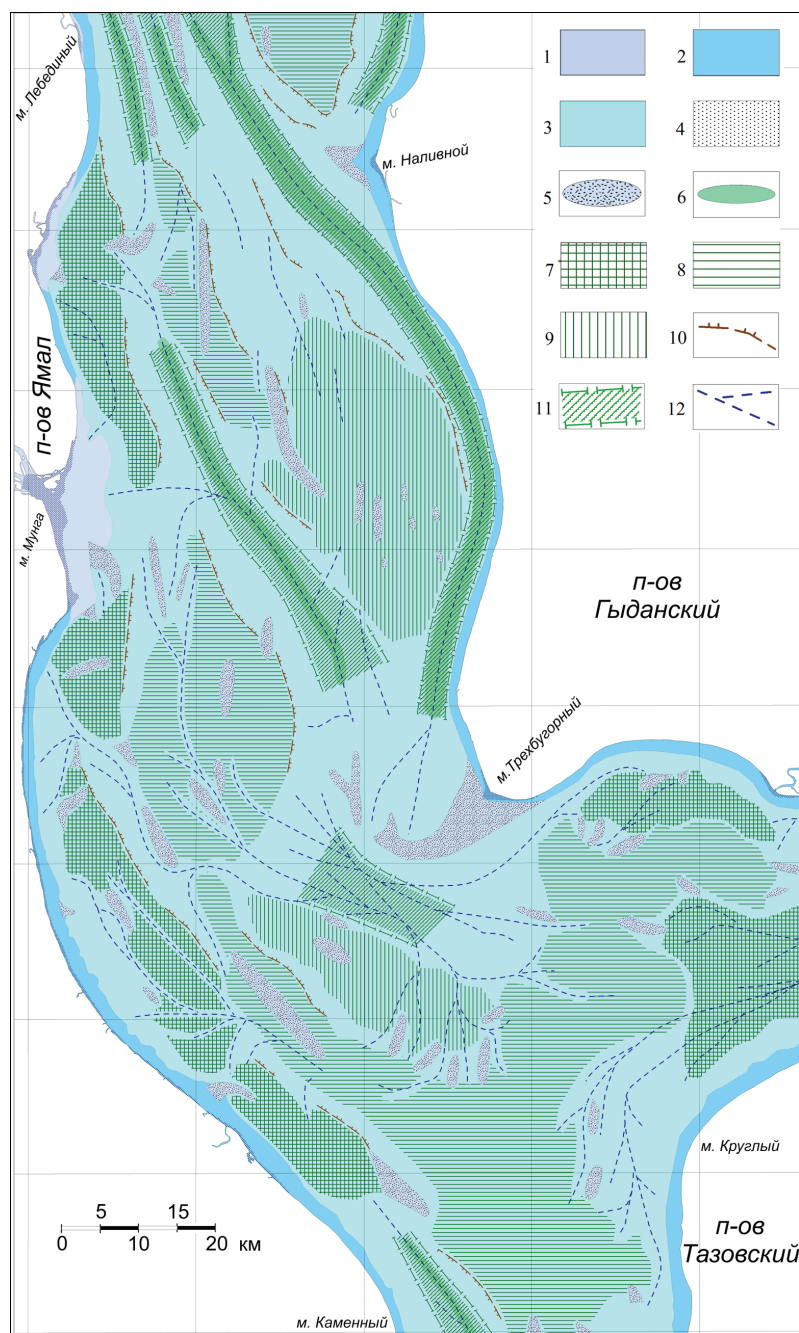


Рис. 4. Фрагмент геоморфологической карты Обской губы Карского моря (центральная часть, масштаб оригинала 1:200 000).

Основные типы рельефа дна: А – пологонаклонные прибрежные морские равнины в зоне современного волнового воздействия (подводный береговой склон) (Q_4): 1) аккумулятивные (мелководья, закрытые лагуны и заливы); 2) абразионно-аккумулятивные; Б – слабонаклонные морские равнины вне зоны современного волнового воздействия (Q_{3-4}): 3) преимущественно аккумулятивные.

Отдельные формы и элементы рельефа дна: В – морские (Q_4): 4) ветровые и приливные осушки; 5) донные аккумулятивные формы (валы, банки); Г – фрагменты древнего субаэрального рельефа (Q_{3-4}): 6) ложбины (предположительно фрагменты затопленных русел); террасовые уровни на глубинах: 7) 5–9 м; 8) 9–11 м; 9) 11–14 м; 10) эрозионные уступы; 11) днища долин; Д – прочие обозначения: 12) тальвеги

Fig. 4. Geomorphological map fragment of Ob Gulf, Kara Sea (middle part, original scale 1:200 000).

The main types of bottom relief: А – gently sloping coastal plains in the zone of modern wave action (offshore) (Q_4): 1) accumulative (shallow waters, closed lagoons and bays); 2) erosional-accumulative; Б – gently inclined plains beyond modern wave action zone (Q_{3-4}): 3) predominantly accumulative.

Individual features and elements of the bottom relief: В – marine (Q_4): 4) wind and tidal flats; 5) seafloor accumulative landforms (spits, bars); Г – fragments of the relict subaerial landforms (Q_{3-4}): 6) hollows (presumably fragments of flooded riverbeds); terraced levels at depths of: 7) 5–9 m; 8) 9–11 m; 9) 11–14 m; 10) erosional scarps; 11) bottoms of valleys; Д – other designations: 12) thalwegs

Заметим, что в современной дельте реки Оби, представляющей собой эстуарно-дельтовую систему выполнения узких и длинных ингрессионных заливов (губ в Западной Сибири) [Морфодинамика..., 2017; Коротаев, Поморцев, 2022], промоины на продолжении русел протоков достигают глубины 12–17 м, тогда как отметки окружающей донной поверхности не превышают в среднем 1–3 м. Сама дельта много рукавная только в западной и северо-восточной частях, на юге же простирается необычайно широкая (до 20 км) Надымская Обь, сохраняющая черты эстуария [Берега, 1991]. По данным повторных аэрофотосъемок и промеров придельтовый участок южной части Обской губы – баровый район устьевых взморья Оби в пределах береговой зоны ее надводной дельты, находится последние 60–70 лет в состоянии динамического равновесия и испытывает незначительные флуктуации в зависимости от изменчивости речного стока [Коротаев, 2012].

На участках промышленного освоения берега и дно Обской губы подвергаются интенсивному техногенному воздействию при строительстве гидротехнических сооружений и подходов каналов (р-н порта Сабетты, терминала «Утренний» и др.). Данные батиметрической съемки поверхности дна многолучевыми эхолотами свидетельствуют о существенных изменениях морфологии, уклонов поверхности, особенно на участках выемки грунта и дноуглубительных работ. Строительство причалов, молов и ледозащитных конструкций ведет к перестройке потоков вдольберегового транспорта наносов, формированию зон размыва и аккумуляции, активизации береговых процессов и изменениям положения линии берега [Belova et al., 2023].

Слабонаклонные, преимущественно аккумулятивные морские равнины вне зоны современного волнового воздействия. Большую часть дна Обской губы вне зоны активного волнового воздействия занимают слабонаклонные, преимущественно аккумулятивные равнины, осложненные отдельными формами субаэрального и субаквального рельефа. В целом поверхность дна достаточно выровненная, несмотря на многочисленные песчаные банки – Вилькицкого (Северные), Прохорова, Опасная, а также банки вблизи мысов Хэсаля, Хонарасаля и Трехбугорный. По оценкам специалистов в пределах этих положительных форм рельефа в северной части губы могут сохраняться реликты многолетнемерзлых пород [Рокос и др., 2019], свидетельствующие о субаэральном этапе морфолитогенеза этой территории в период развития последней крупной позднеплейстоценовой регрессии и на начальных этапах фландрской трансгрессии [Авенариус и др., 2001; Каплин, Селиванов, 1999]. В условиях широкого распространения многолетнемерзлых пород и

пониженного базиса эрозии прогрессировало врезание рек. Это привело к глубокому эрозионному расчленению поверхности осушенного шельфа и увеличению сноса терригенного материала с суши в результате активизации криогенных, эоловых и склоновых процессов.

В ходе последующей трансгрессии рельеф и отложения пра-долины Оби подвергались переработке гидрогенными процессами, интенсивность которых во многом определялась скоростью относительного поднятия уровня моря и его ледовитостью, а также объемами обломочного материала, поступающего главным образом от переработки берегов и дна. В результате многие черты субаэрального рельефа были утрачены или оказались погребены под молодыми аллювиально-морскими осадками, устойчивая неволновая аккумуляция которых продолжается в наши дни на фоне дифференцированных новейших тектонических движений [Баранская, 2015] и повышения уровня Мирового океана.

В современном рельефе дна сохранились неглубокие эрозионные врезы, флювиальный генезис которых устанавливается по характерной морфологии и непосредственной связи некоторых из них с пра-тальвегами и устьями рек, впадающих в море. Ширина этих ложбин изменяется от 0,5 до 4–8 км, максимальная глубина не превышает 2–3 м. Ориентированы они согласно уклонам поверхности и образуют в плане рисунок речной сети с выраженными отрезками погребенной пра-долины Оби. Общую картину дополняют террасовые уровни, положение которых в пространстве (вдоль осевой части губы, согласно изобатам) и гипсометрические характеристики не оставляют сомнения в их генезисе.

В северной части губы в пределах вторично-расчлененной аккумулятивной равнины прослеживается несколько крупных, в значительной степени погребенных современными осадками фрагментов древних русел шириной до 4,5–5 км, максимальная глубина которых не превышает 25–27 м (профиль A_1-A_2 , рис. 3Б). По обоим бортам затопленных долин морфологически хорошо выражены два террасовых уровня с относительным превышением 7–10 и 13–15 м. Слабонаклонная поверхность уровней осложнена древними береговыми аккумулятивными формами разного масштаба и современными эрозионными ложбинами, сформированными под влиянием талассогенных факторов. На участке в створе м. Лебединый сохранились элементы древней дельты, значительно трансформированной к настоящему времени волнами и течениями. По всей видимости, дельта была сформирована при стоянии уровня воды в Обской губе на 9–12 м ниже современного и устанавливается по плановым очертаниям. Аналогичный уровень береговой линии

в морях восточной Арктики датирован временем 7,5–6,7 тыс. лет назад [Бадюков, Каплин, 1979]. К северу от м. Лебединый в створе м. Ханарасалы в рельефе дна также прослеживаются фрагменты древних русел.

В центральной части Обской губы на участке слияния с Тазовской губой (в пределах Северо-Каменномысской структуры) древняя долина Оби не имеет четкой морфологической выраженности вследствие массовой аккумуляции тонкозернистого материала в области конвергенции обских и тазовских вод со значительным содержанием взвешенного материала. Здесь преобладают глубины 11–14 м. Рельеф поверхности дна выровненный, аккумулятивный, в южной части осложнен мелкими валами и грядами высотой 0,5–1,0 м. Из субаэральных форм донного рельефа вдоль западного берега сохранилась морфологически слабовыраженная низкая терраса, бровка которой ориентирована в направлении СЗ–ЮВ. Только к северу от м. Трехбугорного прослеживаются два пересекающихся русла, частично заполненные современными осадками. Здесь же выделяются две террасовидные поверхности, уровни которых по отношению к разновысотным тальвегам русел имеют относительные превышения соответственно 9–10 и 13–15 м в одном случае, и 7–13 м – в другом. В узкой части губы между мысами Каменный и Парусный (район структуры Каменномысское-море) на дне сохранился еще один фрагмент древней долины Оби, вытянутый с юга на север и поддерживаемый в настоящее время течениями различного генезиса. Наибольшие глубины вдоль длинной оси структуры достигают 16,6–16,8 м. Этот участок долины имеет два террасовых уровня с относительными высотами 7–8 и 11–13 м (профиль В₁–В₂, рис. 3Г). Террасы прослеживаются по левому и правому бортам долины, их поверхности осложнены современными аккумулятивными формами. Последний фрагмент древней речной длины, выявленный на дне восточнее Нового Порты, почти полностью перекрыт современными осадками и устанавливается по слабовыраженному линейному понижению. На подводном береговом склоне к западу от мыса Парусный выявлено локальное поднятие дна на расстоянии 12–15 км от берега (банки Вилькицкого). В осенний период ледообразования здесь, как и на мелководье у м. Трехбугорного, формируются стамухи и торосы.

Среди субаквальных донных форм рельефа выделяются хорошо выраженные крупные линейные углубления, выработанные стоковыми течениями. Не исключено, однако, что эти углубления образовались на месте субаэральной речной сети. Особый интерес представляет южная часть губы (участок расширения к югу от створа коса Каменная – м. Парусный).

Здесь на фоне уплощенного, выровненного современной аккумуляцией дна отмечается серия невысоких субшироко ориентированных волнообразных гряд. Они сложены илистым материалом, в длину достигают нескольких десятков километров, в высоту – до 1,0 м. Образование этих гряд, по-видимому, обусловлено конвергенцией течений из южной и северной частей губы, в результате чего энергия их взаимно гасится и взвесь оседает на дно, образуя упомянутые гряды. Их пространственное расположение обусловлено соотношением скоростей стокового течения реки Оби с юга и преимущественно нагонных и приливных течений с севера. Изменение стока Оби обуславливает миграцию зоны контакта «северных» и «южных» вод, а соответственно и указанную зону гряд в целом можно рассматривать как мигрирующую в зависимости от конкретной гидрологической обстановки (водность года, межень, паводок, сгон, нагон и т. п.) границу заметного литодинамического эффекта стокового течения Оби.

Подобные формы отмечаются и в пределах Обской газоносной структуры, расположенной в 30 км к югу от м. Парусный у восточного берега Обской губы. Глубины на этой площади колеблются от 7,2 до 9,6 м. В рельефе прослеживаются серии слабовыраженных поперечных (ориентированных с запада на восток) донных гряд, сложенных илистым материалом. Относительная высота этих форм от 0,2 до 1,0 м. Определенную роль в их формировании играют, по-видимому, приливные и суммарные сгонно-стоковые течения. Также в рельефе прослеживается относительно крупная субшироко ориентированная ложбина глубиной 1,0–1,5 м, разделяющая поверхность дна над Обской газоносной структурой на две части. По-видимому, ложбина также является фрагментом древней эрозионной сети.

Наряду с различиями морфологии северной, центральной и южной частей губы отмечается ярко выраженная асимметрия поперечного профиля (см. рис. 3), обусловленная действием силы Кориолиса и проявляющаяся во многих чертах строения подводных береговых склонов западного и восточного берегов. Это одна из наиболее характерных особенностей морфологии Обской губы, отмечавшаяся ранее [Люция, 1939; Земцов, 1976].

Западный (Ямальский) берег почти на всем протяжении отмелый и низкий. Средняя высота береговых уступов близка 4 м (от 2 до 7–12, редко 15–20 м), а средние уклоны подводного берегового склона равны 0,001–0,002 (от 0,0004 до 0,004). На низкие, преимущественно аккумулятивные берега приходится 64% длины береговой линии. Восточный берег значительно более высокий и приглубый. Средняя высота береговых уступов составляет 14 м, средние значения уклонов подводного берегового

склона 0,004–0,005, максимальные – 0,007–0,01. Низкие аккумулятивные берега здесь менее развиты, а на долю обрывистых, подмываемых морем уступов высотой до 35–50 м приходится 62% протяженности линии берега. При общей слабой расчлененности западного и восточного берегов губы западный отличается большей изрезанностью, наличием крупных аккумулятивных форм типа кос, вытянутых в южном направлении и переходящих в подводные отмели (например, коса Каменная), образуемых ими бухт и изгибов береговой линии. На восточном берегу подобные крупные формы вторичного расчленения практически не развиты. В южной (придельтовой) области берег наиболее отмелый (уклоны менее 0,002–0,0005) и, по существу, представляет собой морской край современных субаэральных дельт Оби и Надыма.

Донные осадки. Пологонаклонные прибрежные морские равнины (аккумулятивные и абразионно-аккумулятивные) в зоне современного волнового воздействия. В пределах подводного берегового склона с поверхности распространены наиболее пестрые по гранулометрическому составу прибрежно-морские осадки, представленные исключительно терригенным песчано-илистым материалом. Основными источниками поступления наносов являются твердый речной сток и продукты разрушения берегов. Дополнительное поступление осадков осуществляется с ледовыми, фазовыми, гравитационными, эоловыми и биогенными процессами. Общим для всех этих процессов является сезонная ритмичность проявления. Динамика наносов обусловлена волнением и течениями, моделирующим вдольбереговое и поперечное перемещение, а также экзарационным воздействием и ледовым разносом осадков, объемы которого могут быть сопоставимы с объемами волнового транспорта.

Прибрежно-морские осадки подразделяются на три фации: *волноприбойную*, соответствующую верхней, наиболее динамичной полосе береговой зоны (включая мелководья и приустьевые области крупных рек) и отличающуюся наилучшей сортировкой и наибольшей крупностью песчаных осадков; фацию *нижней части подводного берегового склона*, представленную почти несортированными осадками смешанного песчано-алевритового состава, свидетельствующую об ослабленном и эпизодическом волновом воздействии на дно; *бухтовую*, приуроченную к мелким заливам и бухтам с ослабленным волновым режимом, где формируются плохо сортированные песчаные мелкоалевритовые осадки с повышенным содержанием растительного органического вещества.

Слабонаклонные, преимущественно аккумулятивные морские равнины вне зоны современного

волнового воздействия. По мере нарастания глубин и удаления от устья реки Оби решающую роль в переносе наносов начинают играть приливно-отливные, стоковые и другие течения. Пески, пылеватые супеси и легкие суглинки встречаются лишь на отдельных положительных формах рельефа дна, где они характеризуются разной, но в целом меньшей сортированностью по сравнению с отложениями на прибрежных участках. Вся остальная поверхность дна занята алевритами, пелитами или осадками переходного и смешанного типа на их основе. Мощность этих отложений не менее 10–20 м, причем современные аллювиально-морские и лагунно-морские осадки подстилаются погребенными древнеаллювиальными, как правило, тонкозернистыми осадками [Слинченков и др., 2009; Мотычко и др., 2011; Рокос и др., 2020].

Авандельтовые осадки южной части губы формируются почти исключительно за счет взвешенных наносов рек Оби, Надыма, Пура и Таза. Закономерные изменения гранулометрического состава с увеличением глубины и ослаблением влияния речного стока по мере удаления от Обской дельты подчеркиваются сменой сортировки песчано-алевритовых осадков в сторону ее ухудшения.

Эстуарные, сложные по составу песчано-алеврито-глинистые осадки распространены на днище осевой ложбины Обской губы, в том числе над Северо-Каменномысской и Каменномысской структурами. Формируются они наносами из различных источников при существенном воздействии приливных и сгонно-нагонных течений. Наиболее распространены почти несортированные алевритовые отложения смешанного типа, накапливающиеся в обстановке нестабильной и относительно слабой активности водной среды. На их фоне отдельными узкими полосами или пятнами, приуроченными к бортам наиболее глубоких ложбин и склонам некоторых поднятий дна, развиты существенно более грубозернистые несортированные осадки, характер которых указывает на достаточно активную динамику с периодическими размывами и интенсивным перемещением донных наносов. Массовое осаждение тонких взвесей (мельче 0,01 мм) и формирование осадков типа алевритово-глинистых и глинистых илов отмечается в средней части губы. Область их развития совпадает с зоной миграции придонного галофронта, что позволяет связывать эту фацию осадков с коагуляцией взвеси в зоне смешения пресной и соленой воды.

Общей особенностью донных осадков рассматриваемой акватории является их высокая (до 6–8%) обогащенность органическим веществом, которое присутствует не только в рассеянных формах, но также в форме прослоев растительного де-

трита и торфа [Мотычко и др., 2011; Рокос и др., 2020]. Разложение органики приводит к высокой насыщенности донных отложений его газообразными продуктами, прежде всего метаном.

Отсутствие валов и других выраженных форм донного рельефа за пределами подводного берегового склона (на глубинах свыше 10–12 м), характерных для участков интенсивного переноса осадков во взвешенном состоянии, подтверждают сравнительно высокую стабильность отложений на этих глубинах.

Криогенное строение донных осадков в Обской губе изучено крайне слабо и фрагментарно. Известно, что в субаквальных условиях происходит перестройка температурного поля мерзлых пород, обуславливающая в данном случае протаивание отложений, деградацию ММП, уничтожение криогенного рельефа. Однако в береговой зоне, примерно до изобаты 2 м, эти процессы протекают медленно, так как образующийся здесь припайный лед смерзается с донными осадками и формируется так называемый «сезонно-мерзлый козырек», представляющий определенную опасность для инженерных объектов. При этом промерзание и/или протаивание отложений зависит от соотношения температур придонного слоя воды и температур замерзания поровых вод подводных отложений, что определяется в основном их минерализацией. Определяющее же значение имеют рельеф и уклоны подводного берегового склона, а также мощность снежно-ледового покрова. По данным бурения на мысе Каменном (западный берег Обской губы) ширина зоны сезонного промерзания может достигать 300 м на отмелях берегах. При этом кровля многолетнемерзлых пород закономерно понижается в мористом направлении и на расстоянии 400 м от берега залегает на глубине 11 м от поверхности дна [Кокин, Цвечинский, 2013]. Сплошность вдольбереговых зон распространения многолетнемерзлых пород может нарушаться таликами, образовавшимися напротив устьев впадающих (впадавших) в губу рек. На большей части акватории Обской губы развит сплошной талик [Рокос и др., 2019].

Ледово-экзарационный микрорельеф дна. Завершая краткое описание рельефа и осадков дна, нельзя не упомянуть о микроформах, сформированных экзарационным воздействием деформированных морских льдов [Огородов, 2011]. Как известно, динамическая деформация ледяного покрова и его нагромождения в виде различных образований (наслоения, отдельные торосы, гряды торосов, несяки и стамухи) являются характерными для Обской губы и могут занимать до $\frac{2}{3}$ площади акватории в зависимости от особенностей атмосферной цирку-

ляции в тот или иной сезон. Под влиянием течений и ветра подводные части ледяных образований могут внедряться в донный грунт, образуя борозды и углубления различной глубины, ширины, протяженности и ориентировки. По своей морфологии они отличаются от форм волнового генезиса, вследствие чего хорошо дифференцируются геофизическими методами [Огородов и др., 2013].

Степень сохранности и продолжительность существования экзарационных борозд на дне определяется литологическим составом и мощностью неконсолидированных донных осадков. Как правило, на мелководье борозды нивелируются при первых сильных волнениях в безледный период, с глубиной сохранность форм возрастает. В силу преобладания слабokonсолидированных сильнообводненных илистых грунтов на дне Обской губы борозды ледового выпайивания достаточно быстро «затекают» и теряют форму.

ВЫВОДЫ

Геоморфологическое строение дна Обской губы Карского моря в полной мере отражает последовательное изменение условий морфолитогенеза в позднем плейстоцене и голоцене, начиная с субэразмального этапа развития осушенной перигляциальной равнины вплоть до настоящего времени, включая признаки неравномерного подъема уровня моря, деятельности береговых и флювиальных процессов. Сохранившиеся в рельефе фрагменты древних русел, частично заполненные современными осадками, и террасовые уровни флювиального генезиса являются наиболее крупными формами донного рельефа субэразмального происхождения. Более мелкие субэразмальные и полигенетические формы рельефа представлены фрагментами затопленных дельт с частично перемытыми протоками и островами, а также локальными положительными формами. Все мелкие аккумулятивные и эрозионные формы сформированы на современном этапе развития этого мелководного залива эстуарного типа в условиях сложного взаимодействия талассогенных и флювиальных факторов.

Сохранность реликтовых субэразмальных форм рельефа дна во многом обусловлена интенсивностью дельтовой седиментации р. Оби и в целом возрастает по мере удаления от устья. Наиболее выраженные в морфологическом отношении эрозионные формы представлены в северной части губы, тогда как в центральной и южной частях вследствие массовой аккумуляции материала в области конвергенции донных течений, обских и тазовских вод, рисунок древней флювиальной сети выражен менее отчетливо.

Благодарность. Исследование проведено при поддержке РНФ (проект 22-17-00097).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авенариус И.Г., Ермолов А.А., Мысливец В.И., Репкина Т.Ю. Рельеф и некоторые аспекты палеогеографии позднего валдая – голоцена в районе о. Варандей (Баренцево море) // Седиментологические процессы и эволюция морских экосистем в условиях морского перигляциала: сб. ст. / под ред. Э.В. Шипилова. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 2001. С. 135–147.
- Баду Ю.Б. Геологическое строение криогенной толщи севера Западной Сибири // Инженерная геология. 2011. № 1. С. 40–56.
- Бадюков Д.Д., Каплин П.А. Изменения уровня на побережье дальневосточных и арктических морей СССР за последние 15 000 лет // Океанология. 1979. Т. 19. Вып. 4. С. 674–679.
- Баранская А.В. Роль новейших вертикальных тектонических движений в формировании рельефа побережий Российской Арктики: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2015. 26 с.
- Берега / П.А. Каплин, О.К. Леонтьев, С.А. Лукьянова, Л.Г. Никифоров. М.: Мысль, 1991. 479 с.
- Бирюков В.Ю., Дунаев Н.Н., Павлидис Ю.А. Осадочный чехол и развитие Западно-Карского шельфа в кайнозое // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 1989. № 3. С. 53–59.
- Бирюков В.Ю., Ермолов А.А., Огородов С.А. Рельеф дна Байдарачкой губы Карского моря // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2008. № 3. С. 80–84.
- Бирюков В.Ю., Огородов С.А. Рельеф дна Печорского моря // Труды Ин-та океанологии РАН. 2003. № 4. С. 105–110.
- Бирюков В.Ю., Совершаев В.А. Геоморфология дна Карского моря // Динамика арктических побережий России / под ред. В.И. Соломатина и др. М.: Географический факультет МГУ, 1998. С. 102–115.
- Гатауллин В.Н. Марресальская свита Западного Ямала – отложения дельты пра-Оби // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода (КИЧП). 1991. № 60. С. 53–61.
- Дубиков Г.И. Состав и криогенное строение мерзлых толщ Западной Сибири. М.: ГЕОС, 2002. 246 с.
- Жигарев Л.А., Новиков В.Н., Попов Б.А., Совершаев В.А. Исследование береговой зоны Арктических морей // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 1984. № 3. С. 45–50.
- Земцов Л.А. Геоморфология Западно-Сибирской равнины. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1976. 343 с.
- Каплин П.А., Селиванов А.О. Изменения уровня морей России и развитие берегов: прошлое, настоящее, будущее. М.: ГЕОС, 1999. 299 с.
- Кокин О.В., Цвецинский А.С. Геокриологическое строение подводного берегового склона Обской губы в зоне контакта с припаем // Вести газовой науки. 2013. № 3(14). С. 67–69.
- Кортаев В.Н. Сравнительный анализ позднеголоценовых и современных речных дельт Северной Евразии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2012. № 1. С. 52–59.
- Кортаев В.Н., Поморцев О.А. Устьевые системы крупных рек арктического побережья России: типизация, геоморфология и история формирования // Вестник Северо-Восточного федерального ун-та им. М.К. Аммосова. Серия «Науки о Земле». 2022. № 4. С. 59–76.
- Ласточкин А.Н. Методы морского геоморфологического картографирования. Л.: Недра, 1982. 272 с.
- Ласточкин А.Н. Рельеф дна Карского моря // Геоморфология. 1977. № 2. С. 84–91.
- Лоция Карского моря. Ч. II. Обь-Енисейский район. Л.: Изд-во ГУСМП, 1939. 314 с.
- Матишов Г.Г. Мировой океан и оледенение Земли. М.: Мысль, 1987. 270 с.
- Морфодинамика устьевых систем крупных рек арктического побережья России: атлас / отв. ред. В.Н. Кортаев, Г.И. Рычагов, Н.А. Римский-Корсаков. М.: АПР, 2017. 148 с.
- Мотычко В.В., Опекунов А.Ю., Константинов В.М., Андрианова Л.Ф. Основные черты морфолитогенеза в северной части Обской губы // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2011. № 1. С. 67–80.
- Никифоров С.Л., Островский Д.Б., Павлидис Ю.А., Селезнев И.А. История развития рельефа шельфа Арктики и создание цифровой модели морского дна // Подводные исследования и робототехника. 2007. № 1(3). С. 66–75.
- Огородов С.А. Роль морских льдов в динамике рельефа береговой зоны. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2011. 173 с.
- Огородов С.А., Шестов А.С., Архипов В.В., Баранская А.В., Вергун А.П., Кокин О.В., Марченко А.В., Цвецинский А.С. Современный ледово-экзарационный рельеф на шельфе Западного Ямала: натурные исследования и моделирование // Вестник Новосибирского гос. ун-та. Серия: Математика, механика, информатика. 2013. Т. 13. № 3. С. 77–89.
- Павлидис Ю.А., Никифоров С.Л., Огородов С.А., Тарасов Г.А. Печорское море: прошлое, настоящее, будущее // Океанология. 2007. Т. 47. № 6. С. 927–939.
- Печорское море. Системные исследования / под ред. Е.А. Романкевича, А.П. Лисицына, М.Е. Виноградова. М.: Море, 2003. 486 с.
- Попов Б.А., Совершаев В.А., Новиков В.Н., Бирюков В.Ю., Камалов А.М., Федорова Е.В. Береговая зона морей Печорско-Карского региона // Исследование устойчивости геосистем Севера / под ред. В.И. Соломатина. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. С. 176–190.
- Рекант П.В., Васильев А.А. Распространение субаквальных многолетнемерзлых пород в Карском море // Криосфера Земли. 2011. Т. XV. № 4. С. 72–75.
- Рокос С.И., Костин Д.А., Куликов С.Н. Субаквальные многолетнемерзлые породы Обской и Тазовской губ Карского моря // Криосфера Земли. 2019. Т. XXIII. № 5. С. 17–26.
- Рокос С.И., Куликов С.Н., Скурихин В.Н., Соколов В.П. Стратиграфия и литология верхней части разреза акватории Обской и Тазовской губ Карского моря // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2020. № 7. С. 164–167.
- Слинченков В.И., Самойлович Ю.Г., Николаев В.В., Константинов В.М. Строение кайнозойских отложений северной части Обской губы Карского моря по акустическим данным // Проблемы Арктики и Антарктики. 2009. № 2. С. 106–117.
- Суздальский О.В. Заложение долин Баренцево-Карского бассейна в позднем кайнозое // Рассыпеобразование на Арктическом шельфе. Л.: Севморгеология, 1983. С. 115–127.
- Трофимов В.Т., Баду Ю.Б., Дубиков Г.И. Криогенное строение и льдистость многолетнемерзлых пород

Западно-Сибирской плиты. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. 246 с.
 Belova N., Ermolov A., Novikova A., Ogorodov S., Stanilovskaya Y. Dynamics of Low-Lying Sandy Coast of the Gy-

dan Peninsula, Kara Sea, Russia, Based on Multi-Temporal Remote Sensing Data, *Remote Sensing*, 2023, vol. 15, no. 1, p. 48.

Поступила в редакцию 27.04.2023
 После доработки 14.08.2023
 Принята к публикации 06.10.2023

SEAFLOOR MORPHOLOGY OF THE OB RIVER GULF, KARA SEA

A.A. Ermolov¹, G.A. Kazhukalo², A.I. Noskov³, S.A. Ogorodov⁴

^{1,2,4} Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Research Laboratory of Geoecology of the North

³ University of Marburg (Germany), Faculty of Geography, Laboratory for Climatology and Remote Sensing

¹ Scientific Researcher; Ph.D. in Geography; e-mail: ermolov@geogr.msu.ru

² Lab assistant; e-mail: kazhukalo@geogr.msu.ru

³ PostDoc; a@n-kov.com

⁴ Chief Scientific Researcher; D.Sc. in Geography; e-mail: ogorodov@geogr.msu.ru

The article presents the results of an extensive study of the bottom topography of the Ob River Gulf in the Kara Sea, which is a follow-up to the long-term studies of the authors. It refines the existing ideas and aims at solving a fundamental problem of reconstructing the conditions for the formation of bottom topography in the shallow bays of the Kara Sea in the Late Pleistocene and Holocene. The work aims to create a regional characteristic of the geomorphologic structure of the Ob River Gulf bottom. The initial data on the bottom topography were taken from marine navigational maps and sounding boards at a scale of 1:50 000 – 1:100 000. We processed and interpreted the collected cartographic material to create a detailed DEM of the bottom and a bathymetric map at a scale of 1:200 000 with an isobaths interval of 1 m. In addition to bathymetric data, the compilation of a geomorphologic map engaged a large amount of literature and stock materials on geomorphology, geology, and geocryology of the region. The original morphogenetic legend was elaborated with due account of current ideas regarding the conditions for the formation of periglacial plains relief at the regressive stage of the Kara Sea shelf evolution. It was found that the relict fluvial relief prevails within the gulf and was partly modified by subaqueous processes during post-LGM transgression and the current epoch. We have indicated the most critical features of the structure and pattern of the flooded pra-valley of the Ob River, as well as the total ancient erosion network. The selected individual forms and relief elements take into account the scale of objects and the degree of their generalization on the map and give an idea of the development of relief-forming processes both at the subaerial stage and under subaqueous conditions, including specific features of modern dynamics of the coastal and bottom relief.

Keywords: estuary, seafloor topography, digital elevation model, geomorphologic map, geomorphic evolution

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project 22-17-00097).

REFERENCES

- Avenarius I.G., Ermolov A.A., Myslivets V.I., Repkina T.Yu. [Morphology and some paleogeographical aspects of late Valdai – Holocene near the Varandey island, Barents Sea], *Sedimentologicheskie protsessy i evolyutsiya morskikh ekosistem v usloviyakh morskogo pereglyatsiala, sb. st.* [Sedimentological processes and evolution of marine ecosystem in marine periglacial settings, proc.], Apatity, KNTs RAS Publ., 2001, p. 135–147. (In Russian)
- Badu Yu.B. Geologicheskoe stroenie kriogennoi tolschi severa Zapadnoi Sibiri [Geological structure of cryogenic sediments at Western Siberia north], *Inzhenernaya geologiya*, 2011, no. 1, p. 40–56. (In Russian)
- Badyukov D.D., Kaplin P.A. Izmeneniya urovnya na poberezh'e dal'nevostochnykh i arkticheskikh morei SSSR za poslednie 15 000 let [Changes in sea-level of Arctic and Pacific seas of the USSR over the last 15 000 years], *Okeanologiya*, 1979, vol. 19, no. 4, p. 674–679. (In Russian)
- Baranskaya A.V. Rol' noveishikh vertikal'nykh tektonicheskikh dvizhenii v formirovanii rel'efa poberezhij Rossiiskoi Arktiki [Role of recent vertical tectonic movements in relief formation on the Russian Arctic coasts], Ph.D. Thesis in Geography, St. Petersburg, 2015, 26 p. (In Russian)
- Belova N., Ermolov A., Novikova A., Ogorodov S., Stanilovskaya Y. Dynamics of Low-Lying Sandy Coast of the Gydan Peninsula, Kara Sea, Russia, Based on Multi-Temporal Remote Sensing Data, *Remote Sensing*, 2023, vol. 15, no. 1, p. 48.

- Berega* [Coasts], P.A. Kaplin, O.K. Leont'ev, S.A. Luk'yanova, L.G. Nikiforov (eds.), Moscow, Mysl' Publ., 1991, 479 p. (In Russian)
- Biryukov V.Yu., Dunaev N.N., Pavlidis Yu.A. Osadochnyi chekhol i razvitie Zapadno-Karskogo shel'fa v kainozoe [Sedimentary cover and evolution of Western Kara Sea shelf during Cenozoic], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 1989, no. 3, p. 53–59. (In Russian)
- Biryukov V.Yu., Sovershaev V.A. [Seafloor geomorphology of the Kara Sea], *Dinamika arkticheskikh poberezhij Rossii* [Dynamics of the Arctic coasts of Russia], V.I. Solomatin (ed.), Moscow, Geograficheskii fakul'tet MGU Publ., 1998, p. 102–115. (In Russian)
- Biryukov V.Yu., Ogorodov S.A. Rel'ef dna Pechorskogo morya [Seafloor morphology of the Pechora Sea], *Tr. In-ta okeanologii RAN*, 2003, no. 4, p. 105–110. (In Russian)
- Biryukov V.Yu., Ermolov A.A., Ogorodov S.A. Rel'ef dna Baidaratskoi guby Karskogo morya [Bottom relief of the Baydaratskaya Bay, inlet Kara Sea], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2008, no. 3, p. 80–84. (In Russian)
- Gataullin V.N. Marresal'skaya svita Zapadnogo Yamala – otlozheniya del'ty pra-Obi [Marresale strata of the Western Yamal – sediments of the pra-Ob' River delta], *Bulletin of the Commission for the Study of the Quaternary Period (Byull. KICHp)*, 1991, no. 60, p. 53–61. (In Russian)
- Dubikov G.I. *Sostav i kriogennoe stroenie merzlykh tolshch Zapadnoi Sibiri* [Sediments and cryogenic structure of Western Yamal frozen stratas], Moscow, GEOS Publ., 2002, 246 p. (In Russian)
- Zhigarev L.A., Novikov V.N., Popov B.A., Sovershaev V.A. Issledovanie beregovoi zony Arkticheskikh morei [Research of the coastal zone of Arctic seas], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 1984, no. 3, p. 45–50. (In Russian)
- Zemtsov L.A. *Geomorfologiya Zapadno-Sibirskoi ravniny* [Geomorphology of the Western Siberia plain], Tomsk, Tomsk university Publ., 1976, 343 p. (In Russian)
- Kaplin P.A., Selivanov A.O. *Izmeneniya urovnya morei Rossii i razvitie beregov: proshloe, nastoyashchee, budushchee* [Sea-level change of Russian seas and coastal evolution: past, present and future], Moscow, GEOS Publ., 1999, 299 p. (In Russian)
- Kokin O.V., Tsvetsinskii A.S. Geokriologicheskoe stroenie podvodnogo beregovogo sklona Obskoi guby v zone kontakta s pripaem [Geocryological structure of the Ob River Gulf submarine nearshore slope in the landfast ice zone], *Vesti gazovoi nauki*, 2013, no. 3(14), p. 67–69. (In Russian)
- Korotaev V.N. Sravnitel'nyi analiz pozdnegolotsenovykh i sovremennykh rechnykh del't Severnoi Evrazii [Comparative analysis of the late Holocene and present-day river deltas of Northern Eurasia], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2012, no. 1, p. 52–59. (In Russian)
- Korotaev V.N., Pomortsev O.A. Ustjevye sistemy krupnykh rek arkticheskogo poberejya Rossii: tipizatsiya, geomorfologiya i istoriya formirovaniya [Mouth systems of large rivers of the arctic coast of Russia: typification, geomorphology and the history of formation], *Vestnik of North-Eastern Federal. Un-ty, Earth Sciences*, 2022, no. 4, p. 59–76. (In Russian)
- Lastochkin A.N. Rel'ef dna Karskogo morya [Bottom topography of the Kara Sea], *Geomorfologiya*, 1977, no. 2, p. 84–91. (In Russian)
- Lastochkin A.N. *Metody morskogo geomorfologicheskogo kartografirovaniya* [Marine geomorphologic mapping techniques], Leningrad, Nedra Publ., 1982, 272 p. (In Russian)
- Lotsiya Karskogo morya, ch. II, Ob'-Eniseiskii raion* [Sailing map of the Kara Sea, pt II, Ob'-Yenisey region], Leningrad, GUSMP Publ., 1939, 314 p. (In Russian)
- Matishov G.G. *Mirovoi okean i oledenenie Zemli* [The World Ocean and the Earth's glaciation], Moscow, Mysl' Publ., 1987, 270 p. (In Russian)
- Morfodinamika ust'evykh sistem krupnykh rek arkticheskogo poberezh'ya Rossii. Atlas* [Morphodynamic of the large rivers deltas of Russian Arctic hinterland. Atlas], V.N. Korotaev, G.I. Rychagov, N.A. Rimskii-Korsakov (eds.), Moscow, APR Publ., 2017, 148 p. (In Russian)
- Motychko V.V., Opekunov A.Yu., Konstantinov V.M., Andrianova L.F. Osnovnye cherty morfolitogeneza v severnoi chasti Obskoi guby [Main features of morpholithogenesis in the northern part of the Ob River Gulf], *Vestnik SPb-GU, Ser. 7*, 2011, no. 1, p. 67–80. (In Russian)
- Nikiforov S.L., Ostrovskii D.B., Pavlidis Yu.A., Seleznev I.A. Istoriya razvitiya rel'efa shel'fa Arktiki i sozdanie tsifrovoi modeli morskogo dna [Geomorphic evolution of the Arctic shelf and creating a digital bathymetric model], *Podvodnye issledovaniya i robototekhnika*, 2007, no. 1(3), p. 66–75. (In Russian)
- Ogorodov S.A. *Rol' morskikh l'dov v dinamike rel'efa beregovoi zony* [The role of sea ice in the coastal dynamics], Moscow, MSU Publ., 2011, 173 p. (In Russian)
- Ogorodov S.A., Shestov A.S., Arkhipov V.V., Baranskaya A.V., Vergun A.P., Kokin O.V., Marchenko A.V., Tsvetsinskii A.S. Sovremennyy ledovo-ekzaratsionnyi rel'ef na shel'fe Zapadnogo Yamala: naturnye issledovaniya i modelirovanie [Modern ice-exaration relief on the Western Yamal shelf: field research and modeling], *Vestnik Novosibirskogo gos. Un-ta, Seriya: Matematika, mekhanika, informatika*, 2013, vol. 13, no. 3, p. 77–89. (In Russian)
- Pavlidis Yu.A., Nikiforov S.L., Ogorodov S.A., Tarasov G.A. Pechorskoe more: proshloe, nastoyashchee, budushchee [The Pechora Sea: past, present and future], *Okeanologiya*, 2007, vol. 47, no. 6, p. 927–939. (In Russian)
- Pechorskoe more. Sistemnye issledovaniya* [The Pechora Sea: system studies], E.A. Romankevich, A.P. Lisitsyn, M.E. Vinogradov (eds.), Moscow, More Publ., 2003, 486 p.
- Popov B.A., Sovershaev V.A., Novikov V.N., Biryukov V. Yu., Kamalov A.M., Fedorova E.V. [Coastal zone of the Pechora-Kara Seas], *Issledovanie ustoichivosti geosistem Severa* [Investigation in stability of the North geosystems], V.I. Solomatin (ed.), Moscow, MSU Publ., 1988, p. 176–190. (In Russian)
- Rekant P.V., Vasil'ev A.A. Rasprostranenie subakval'nykh mnogoletnemerzlykh porod v Karskom more [Spatial distribution of subaqueous frozen sediments in the Kara Sea], *Kriosfera Zemli*, 2011, vol. XV, no. 4, p. 72–75. (In Russian)
- Rokos S.I., Kostin D.A., Kulikov S.N. Subakval'nye mnogoletnemerzlye породы Obskoi i Tazovskoi gub Karskogo morya [Subaqueous frozen sediments of the Ob and Taz River gulfs, Kara Sea], *Kriosfera Zemli*, 2019, vol. XXIII, no. 5, p. 17–26. (In Russian)
- Rokos S.I., Kulikov S.N., Skurikhin V.N., Sokolov V.P. Stratigrafiya i litologiya verkhnei chasti razreza akvatorii Obskoi i Tazovskoi gub Karskogo moray [Stratigraphy and lithology of the upper outcrop part of the Ob and Taz River gulfs, Kara Sea], *Rel'ef i chetvertichnye*

- obrazovaniya Arktiki, Subarkтики i Severo-Zapada Rossii*, 2020, no. 7, p. 164–167, DOI:10.24411/2687-1092-2020-10725. (In Russian)
- Slinchenkov V.I., Samoilovich Yu.G., Nikolaev V.V., Konstantinov V.M. Stroenie kainozoiskikh otlozhenii severnoi chasti Obskoi guby Karskogo morya po akusticheskim dannym [Cenozoic sediment structure of the northern part of the Ob River Gulf, Kara Sea, based on acoustic data], *Problemy Arktiki i Antarkтики*, 2009, no. 2, p. 106–117. (In Russian)
- Suzdal'skii O.V. [Valley formation in the Barents-Kara basin over the late Cenozoic], *Rossypeobrazovanie na Arkticheskom shel'fe* [Placer formation on the Arctic shelf], Leningrad, Sevmorgeologiya Publ., 1983, p. 115–127. (In Russian)
- Trofimov V.T., Badu Yu.B., Dubikov G.I. *Kriogennoe stroenie i l'distost' mnogoletnemerzlykh porod Zapadno-Sibirskoi plity* [Cryogenic structure and ice content of Western Siberia's frozen sediments], Moscow, MSU Publ., 1980, 246 p. (In Russian)

Received 27.04.2023

Revised 14.08.2023

Accepted 06.10.2023