

УДК 551.89:902.034

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2025-64-4-52-61

ЭВОЛЮЦИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПОРТА ФАНАГОРИИ В V–I ВЕКАХ ДО Н. Э.

Алексей Олегович Хотылев¹✉, Дмитрий Викторович Корзинин²,
Сергей Валерьевич Ольховский³, Олег Владимирович Хотылев⁴,
Александр Александрович Майоров⁵, Николай Николаевич Дьяков⁶

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; akhotylev@yandex.ru ✉

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия; korzinin@ocean.ru

³ Институт археологии РАН, Москва, Россия; uwiaran@gmail.com

⁴ АО «ЗАРУБЕЖГЕОЛОГИЯ», Москва, Россия; hot63@mail.ru

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; alex.yora@gmail.com

⁶ Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, Севастополь, Россия; dyakoff@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена изучению гидродинамических условий, существовавших в акватории города Фанагория во второй половине I тыс. до н. э. — в период постройки и эксплуатации крупного причального сооружения. Его необычную форму и размеры сложно объяснить без учета локальной обстановки — волнового и ветрового режимов, направления и интенсивности течений. Модели, построенные на основе современных данных с учетом палеогеографической реконструкции очертаний и глубин водоема, определили гидродинамические условия акватории и подтвердили практическую целесообразность формы древнего причала.

Ключевые слова: Таманский залив, Фанагория, археология, порт, течения, гидродинамические условия

Для цитирования: Хотылев А.О., Корзинин Д.В., Ольховский С.В., Хотылев О.В., Майоров А.А., Дьяков Н.Н. Эволюция гидродинамического режима порта Фанагории в V–I веках до н. э. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2025. № 4. С. 52–61.

EVOLUTION OF HYDRODYNAMIC CONDITIONS OF THE PORT OF THE CITY OF PHANAGORIA IN THE 5th–1st CENTURIES BC

Aleksey O. Khotylev¹✉, Dmitriy V. Korzinin², Sergey V. Olkhovskiy³, Oleg V. Khotylev⁴,
Aleksander A. Mayorov⁵, Nikolay N. Dyakov⁶

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; akhotylev@yandex.ru ✉

² Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow, Russia; korzinin@ocean.ru

³ Institute of Archaeology of RAS, Moscow, Russia; uwiaran@gmail.com

⁴ JSC “ZARUBEZHGEOLGIA”, Moscow, Russia; hot63@mail.ru

⁵ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; alex.yora@gmail.com

⁶ N.N. Zubov's State Oceanographic Institute, Sevastopol, Russia; dyakoff@mail.ru

Abstract. The present article is a study of hydrodynamical conditions that existed in the water area of Phanagoria in the second half of the I millennium BCE, during the construction and the following operation of a large pier structure. Its unusual shape and size is hard to explain without taking into account its local surroundings — wave and wind patterns, directions and strength of the currents. Models created using modern data and a paleogeographic reconstruction of the outlines and depth of the water area determined the hydrodynamic conditions of said area and confirmed the practical necessity of the ancient pier's shape.

Key words: Taman Bay, Phanagoria, seaport, archaeology, currents, hydrodynamic conditions

For citation: Khotylev A.O., Korzinin D.V., Olkhovskiy S.V., Khotylev O.V., Mayorov A.A., Dyakov N.N. Evolution of hydrodynamic conditions of the port of the city of Phanagoria in the 5th–1st centuries BC. *Moscow University Geol. Bull.* 2025; 4: (In Russ.).

Введение. Город Фанагория основан на южном побережье Таманского залива (рис. 1) в 540-х гг. до н. э. переселенцами из Малой Азии [Кузнецов, 2010]. В V в. до н. э. Фанагория вошла в состав Боспорского царства, что привело к интенсивному развитию города и его постепенному превращению во вторую (после Пантикапея) столицу государства. Развитию Фанагории способствовало ее выгодное положение

на перекрестке морских, речных и сухопутных торговых путей, соединявших Средиземноморье и Малую Азию с Меотидой и Предкавказьем.

Торговую логистику затрудняли мелководность Меотиды (Азовского моря) и русел Гипаниса (реки Кубань), недостаточные для морских судов. При этом Боспорское царство нуждалось в транзитном порте, способном обеспечить хранение и экспорт

сельскохозяйственной продукции Азиатского Боспора (современный Таманский полуостров и сопредельные территории), а также перегрузку импортных товаров с морских транспортных на плоскодонные суда, способные достичь отдаленных поселений, расположенных на берегах Меотиды и в верховьях Гипаниса.

Несмотря на мелководье, отсутствие естественной гавани и каменоломен, роль этого порта была отведена Фанагории, где не позднее 400 г. до н.э. развернулось масштабное гидротехническое строительство [Хотылев и др., 2022а, 2022б, 2023, 2024]. Одновременно с созданием портовой инфраструктуры город налаживал интенсивные торговые связи со многими полисами Средиземноморья и южного побережья Черного моря [Кузнецов, 2000].

Значительные ресурсы, вложенные в строительство порта Фанагории, объясняются высокими требованиями к его пропускной способности, подразумевающими возможность одновременной разгрузки/погрузки десятков судов и возможность подъезда колесного транспорта к судам, вставшим к причальной стенке. Соответствие порта Фанагории этим требованиям позволило организовать регулярный и крупномасштабный экспорт пшеницы в Афины, параллельно с обслуживанием сотен судов, ежегодно посещавших Азиатский Боспор в короткий период черноморской навигации.

Изучение этого порта, ныне затопленного морем и почти полностью замытого донными отложениями, началось в 2013 г. [Ольховский, Степанов, 2013] и продолжается до настоящего времени. Его размеры и очертания, установленные благодаря дистанционным обследованиям и подводным раскопкам, весьма нехарактерны для причалов того времени, и поначалу вызывали сомнения в его функциональном назначении. Учитывая, что конфигурация причала зависит от очертаний берега, волнового и ветрового режимов акватории, мы предположили, что форма этого сооружения является попыткой защитить его от замывания морскими осадками, и рассчитали модели гидро- и литодинамических условий, существовавших в акватории Фанагории в 400–100 гг. до н.э.

Материалы и методы исследований. Изучение большого причала Фанагории началось с комплекса дистанционных исследований: батиметрической съемки, гидролокации бокового обзора, гидромагнитной съемки, акустического профилирования. Наиболее информативные результаты предоставила карта аномального магнитного поля, показавшая очертания крупного сооружения и палеобереговой линии. Контур сооружения удалось установить благодаря тому, что существенную часть его конструкции составляют высокомагнитные горные породы [Хотылев и др., 2022а, 2022б, 2023, 2024], формирующие заметные аномалии на фоне слабомагнитных осадочных толщ [Lanza, Meloni, 2006; Смекалова, 2007]. Палеобереговую линию маркируют шлиховые аномалии — тяжелые и высокомаг-



Рис. 1. Схема расположения античного полиса Фанагория на побережье Таманского залива

нитные минералы железа, скапливающиеся вблизи уреза воды.

Для верификации результатов дистанционных обследований и изучения конструкции фанагорийского причала в нем расчищены 12 шурфов (в т.ч. 4 — на полную высоту конструкции), а также траншея по всей его ширине.

Направление современного вдольберегового переноса осадков установлено в результате анализа аэро- и космических снимков. Для оценки направления и объемов переноса осадков в интервалах 400–200 гг. до н.э. и 200–100 гг. до н.э. выполнен поэтапный расчет по модели LOND 2D [Леонтьев, 2014], с учетом данных современного ветрового режима, темпов голоценового осадконакопления и изменений уровня моря за прошедшее время. Кроме того, использована модель прогноза изменения контура береговой линии, произошедшего в результате постройки причала [Леонтьев, 2018]. Очертания и глубины Корокондамитского озера — соленого водоема сложной формы, существовавшего на месте Таманского залива в античное время, приняты на основании опубликованных данных о палеогеографии и скоростях осадконакопления в заливе [Никонов и др., 1998; Горлов и др., 2002; Паромов, 2015; Навроцкая и др., 2016; Гайдаленок и др., 2019; Мануилова и др., 2023].

Описание сооружения. Изучаемое сооружение состоит из двух конструкций. Первая конструкция, далее именуемая «большой причал», ориентирована перпендикулярно берегу по оси С–Ю, имеет не менее 160 м в длину и 68–71 м в ширину (рис. 2). Северный торец большого причала представляет собой скопление крупных камней длиной 30–32 м и шириной 55–58 м, возвышающееся над донными отложениями. Остальная часть большого причала перекрыта рыхлыми наносами (супеси, суглинки, пески) мощностью от 10–15 до 60–70 см. Сооружение сложено из валунов и неокатанных глыб разнородных горных пород размером от 10–15 до 40–50 см.

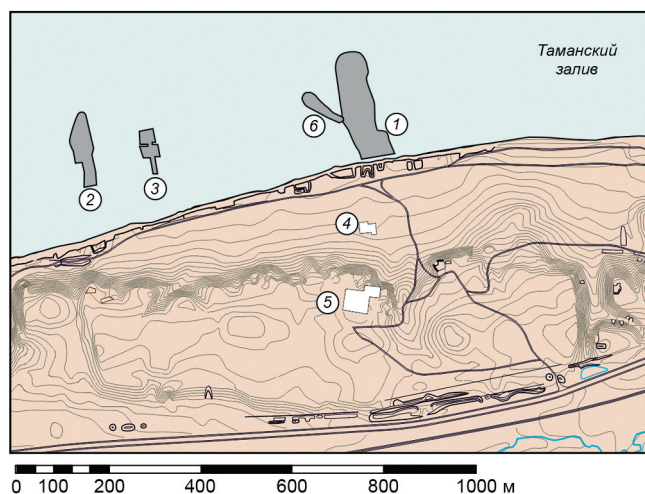


Рис. 2. Схема расположения основных объектов на территории Фанагории: 1 — большой причал классического времени (V–IV вв. до н.э.), 2 — гидротехническое сооружение неясной датировки (условно V–IV вв. до н.э.), 3 — причал римского времени (III–IV вв. н.э.), 4 — раскоп «Нижний город», 5 — раскоп «Верхний город», 6 — малый причал классического времени (V–IV вв. до н.э.)

Большой причал вскрыт насквозь двумя шурфами, его высота составляет 2,5–3,0 м. Западный борт причала оформлен в виде почти отвесной стенки высотой 2,5 м. Восточный борт конструкции, напротив, оказался пологим и вытянутым, без выраженного края.

К центральной части западного борта большого причала примыкает вторая конструкция — ориентированная по оси СЗ–ЮВ веретенообразная насыпь длиной 90–92 м и шириной 30–35 м, далее именуемая «малый причал» (рис. 2). Шурф, вскрывший его насквозь, показал, что малый причал сложен из валунов и глыб разнородных горных пород максимальным диаметром 10–45 см, высота его конструкции достигает 2,0 м. Облик (габариты, степень окатанности) и состав каменного материала, использованного при строительстве обоих причалов, идентичны.

Кровли обоих сооружений расположены на одной высоте, а различия в мощности самих конструкций обусловлены разной глубиной дна, на котором они возводились. С учетом того, что нагонные ветра могут повысить уровень воды в Таманском заливе до +40 см, рабочая поверхность причалов должна была возвышаться над водой не менее чем на 0,5 м. Это позволяет определить, что глубина воды у причальной стенки в период строительства причала составляла как минимум от 1,5 до 2,5 м по мере удаления от берега.

Изучение состава морских осадков вокруг большого причала показало: с восточной стороны относительно разреженная каменная кладка перекрывается и подстилается однородными неслоистыми мелкозернистыми песчаными толщами, а ковш, образованный северными оконечностями большого и малого причалов, заполнен смешанными осадками, густо насыщенными осколками мидий размером 1–4 см, мелкой галькой и мелкими об-

ломками керамических сосудов. Учитывая обилие перемолотых раковин мидий, которые могли быть так раздроблены только в результате интенсивных штормов, мы интерпретируем эти супеси как штормовые образования.

Период строительства большого причала установлен благодаря тому, что при расчистке шурфов в интервалах между камнями кладки были найдены тысячи фрагментов разнообразных керамических сосудов и остатки корзины из растительных волокон. Комплекс керамики, найденной внутри причала, преимущественно относится к 400–350 гг. до н.э. Радиоуглеродное датирование двух фрагментов плетеной корзины показало: первый образец имеет калиброванный возраст в интервале 734–368 гг. до н.э. (95,4 %), с наибольшей вероятностью (90,1 %) 546–368 гг. до н.э. Второй образец датирован интервалом 403–205 гг. до н.э. (95,4 %). Даты двух образцов пересекаются в интервале 403–368 гг. до н.э. Сопоставляя возраст керамических изделий и плетеной корзины, мы определяем период строительства этой части большого причала как 400–370 гг. до н.э.

Период строительства малого причала установлен на основании датировки керамических находок из шурфа и крупного фрагмента бревна, найденного внутри конструкции. Радиоуглеродное датирование показало, что с вероятностью 95,4 % дерево срублено в интервале 748–402 гг. до н.э., при этом с вероятностью 75,6 % — в интервале 567–402 гг. до н.э.

Значительное количество и ассортимент керамических сосудов, найденных в ковше между большим и малым причалами, показывает, что сооружение функционировало по крайней мере до I в. до н.э., хотя ковш к тому времени был уже почти полностью заполнен осадками.

Находка у оконечности малого причала военного корабля (рис. 2, б), затонувшего в 63 г. до н.э. [Boetto, et al., 2022], означает, что глубина воды здесь составляла не менее 1 м, что было достаточно для подхода мелкосидящих судов к южной стенке малого причала.

Строительство в III–IV вв. н.э. нового причала в западной части порта (рис. 2, 3) [Кузнецов, Ольховский, 2016; Голофаст, Ольховский, 2016; Румянцева, Ольховский, 2015] свидетельствует, что большой причал (рис. 2, 1) Фанагории к тому времени был уже полностью затоплен и перекрыт донными осадками.

Гидродинамический и литодинамический режимы прилегающей акватории. При изучении портовых сооружений необходимо учитывать гидродинамический режим акватории: наличие и направление палеотечений, интенсивность вдольберегового переноса осадков. Эти факторы непосредственно влияют на функциональность причалов, так как могут привести к замыванию гидротехнических сооружений, изменению очертаний береговой линии, обмелению прилегающей акватории.

Согласно данным ГМС Тамань, в кутовой части Таманского залива наибольшая повторяемость ха-

рактерна для ветров восточных и северо-восточных румбов (рис. 3). При этом форма залива, вытянутая в широтном направлении, способствует тому, что наибольшим разгоном обладают волны с западных румбов. Наглядным свидетельством преобладающего переноса осадков с запада на восток являются аккумулятивные террасы, намытые с западной стороны современных причалов поселков Приморский и Сенной (рис. 4, а, б).

Аэрофотоснимки показывают, что на побережьях Таманского залива сохранились крупные формы рельефа, образование которых невозможно объяснить современной схемой преобладающего переноса осадков — например, вытянутая на запад затопленная коса у пос. Приморский (рис. 4, в, г). Подобную форму мог сформировать только длительный вдольбереговой перенос осадков с востока на запад. Современная коса, постепенно отрезающая Маркитантское озеро от Таманского залива, формируется за счет переноса осадков с запада на восток, и выглядит более светлой ветвистой полосой (рис. 4, в, г).

Мы полагаем, что по крайней мере в I тыс. до н. э. вдольбереговой перенос в этой акватории был направлен противоположно современному — с востока на запад. Песчаная толща вдоль восточного борта большого причала Фанагории вполне могла сформироваться в результате вдольберегового переноса осадков [Горлов и др., 2002; Артюхин, 2010]. Для проверки этой возможности мы провели расчет модели переноса и накопления осадков, включающий оценку влияния переноса на контур прилегающего берега и на функциональные возможности причала.

Результаты исследований. Моделирование включало в себя несколько последовательных этапов:

- создание палеогеографической модели (уровень моря, конфигурация водоема, палеобатиметрия);
- расчет волнового режима на основе ветровой картины и палеогеографических данных;
- расчет направления и объемов вдольберегового переноса с учетом волнового режима и контура береговой линии;
- расчет влияния причала на вдольбереговой перенос и контур береговой линии.

Создание палеогеографической модели. Уровень моря. Интервал начала-середины I тыс. до н. э. характеризовался низким уровнем моря по отношению к современному, а в начале н. э. уровень моря начал увеличиваться. Авторы по-разному оценивают величину снижения уровня воды: от 1–2 до 5–6 м [Никонов, 1998; Brückner, et al., 2010; Fouache, et al., 2012; Поротов, 2013; Паромов, 2015; Дикарев, 2018; Поротов, 2018]. Рассчитывая модель для интервала 400–200 гг. до н. э., мы используем собственную оценку уровня воды. При шурфовке прибрежной части большого причала Фанагории нами найден слой, где камни конструкции подстилаются и перекрываются выраженными прослоями прессованной

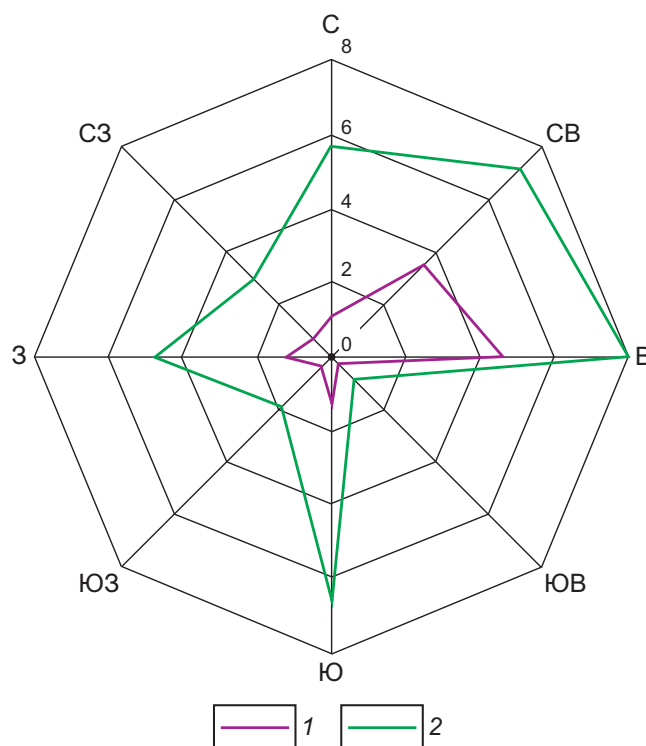


Рис. 3. Современная роза ветров по данным МГ-II Тамань: 1 — ветра более 10 м/с, 2 — ветра 5–10 м/с

зостеры (взморник, камка), обычно скапливающимися в волноприбойной зоне. Так как мы относим начало строительства причала к 400–350 гг. до н. э., а прослой зостеры расположены гипсометрически на 3 м ниже современного уреза воды, это позволяет нам определить уровень моря по состоянию примерно на 400 г. до н. э. на отметке –3 м относительно современного.

Скорость подъема уровня моря возможно оценить на основе результатов современных наблюдений. Данные гидропоста в г. Керчь [Навроцкая и др., 2016] показывают, что средний рост уровня моря в 1875–2005 гг. составил +0,7 мм/год. Средний рост уровня Черного и Азовского морей в 1874–1991 гг. по данным [Филиппов, 2015] составил +1,8 мм/год. Учитывая высоту кровли причала римского времени (III–IV вв. н. э.) [Кузнецов, Ольховский, 2016; Голофаст, Ольховский, 2016; Румянцева, Ольховский, 2015] и высоту кровли большого причала (V–IV вв. до н. э.), мы оцениваем скорость подъема уровня акватории Фанагории как примерно +2 мм/год.

Так как применяемая нами модель расчета корректна только для условий стабильного уровня моря [Леонтьев, 2018], мы подразделили интересующий нас временной период на 2 интервала с различным уровнем моря — 400–200 гг. до н. э. и 200–100 гг. до н. э.

Если исходить из того, что темпы повышения уровня моря в 400–200 гг. до н. э. не превышали вышеуказанные, уровень воды в этот период поднялся на 14–40 см (рост 0,7–2 мм/год соответственно). Это позволяет при расчете модели принимать, что

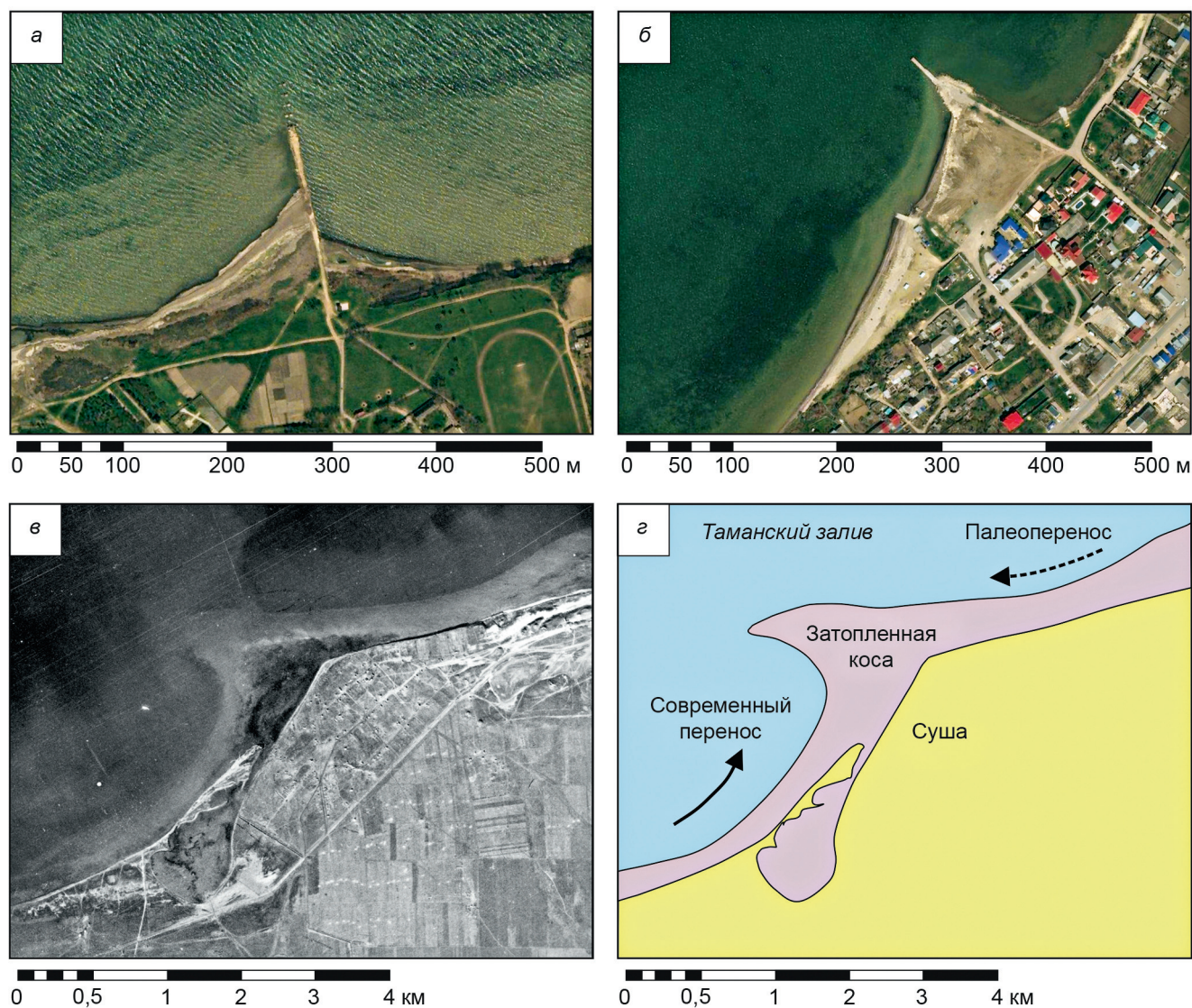


Рис. 4. Современные и древние аккумулятивные формы рельефа в окрестностях Фанагории: а, б — современные причалы в поселках Приморский (а) и Сенной (б) с аккумулятивными террасами; в, з — затопленная древняя коса и современная коса, отчленяющая озеро у пос. Приморский; в — аэрофотоснимок косы (1942 г.), сформировавшейся в результате палеопереноса, у пос. Приморский, з — схема строения рельефа и вдольберегового переноса осадков у пос. Приморский

в 400–200 гг. до н. э. уровень моря был стабилен (–3 м относительно современного).

Подъем уровня моря на интервале 400–200 гг. до н. э. составил не более 0,4 м, поэтому при расчете модели для интервала 200–100 гг. до н. э. мы принимаем уровень моря как –2 м относительно современного, чтобы учесть подъем уровня моря на предыдущем интервале.

Форма бассейна. Конфигурация палеобассейна Таманского залива принята нами исходя из гипотезы, что в I тыс. до н. э. Маркитантскую косу и косу Рубанова соединяла аккумулятивная пересыпь (рис. 5) [Горлов и др., 2002; Артюхин, 2010].

На востоке и на юге залива наша модель предусматривает наличие нескольких проливов или речных рукавов (рис. 5), частично сохранившихся в форме современных Ахтанизовского и Кизилташского лиманов, обеспечивавших сообщение

Корокондамитского озера с Меотидой и дельтой Гипаниса. Хотя гипотеза о существовании указанных проливов до сих пор не доказана [Гарбузов, 2016], мы исходим из их наличия на основе собственных данных [Мануилова и др., 2023]. Контур водоема, принятый в модели с учетом вышеперечисленных факторов, приведен на рис. 5. Так как ширина проливов незначительна по сравнению с размерами залива, то их вклад в волновую картину весьма небольшой.

Расчет палеоглубин Корокондамитского озера выполнен на основе современных морских карт Таманского залива с учетом фактора естественного осадконакопления. Расчет волн выполнен для точки, находящейся в створе большого причала Фанагории, в 1400 м к северу от современного берега, на глубине 3,8 м.

При расчете волновых условий учитывались уровень моря и мощность накопленного осадочного

материала. По результатам непрерывного сейсмического профилирования [Гайдаленок и др., 2019], на дне Таманского залива в голоцене накопилось от 9 до 15 м осадков, что позволяет оценить скорость осадконакопления в основной части этой акватории (кроме прибрежной) как 1,2 м за 1000 лет. Радиоуглеродное датирование раковин, извлеченных из донных осадков [Горлов и др., 2002], показало, в центральной части Таманского залива накапливается 1 м за 800 лет (1,2–1,3 м за 1000 лет), что близко к оценке по сейсмическим данным. На основе вышеизложенного мы принимаем, что за последние 2000 лет на дне Таманского залива отложилось не менее 2 м осадков.

Таким образом, мы полагаем, что в точке расчета волн, ныне расположенной на глубине 3,8 м, в интервале 400–200 гг. до н. э. уровень моря был на 3 м ниже современного (ввиду изменения уровня моря), а поверхность дна — на 2 м ниже современного (ввиду осадконакопления), что определяет глубину моря в точке расчета как 2,8 м. В интервале 200–100 гг. до н. э. поправка за уровень моря составит 2 м, за накопленные осадки — 2 м, что дает глубину в точке расчета — 3,8 м.

Расчет волнового режима выполнен на основе современных многолетних данных о ветровых условиях, с допущением, что за последние 2000–2500 лет они изменились незначительно. Нами использованы данные о повторяемости ветров в 1939–2020 гг., зафиксированные МГ-П Тамань. Для расчета волнового режима взяты зависимости, описывающие волнообразование под действием приводного ветра с учетом длины разгона волн, конфигурации акватории и глубины в расчетной точке [Лаппо и др., 1990; РД 52.10. 865-2017..., 2018].

В результате рассчитана повторяемость волновых режимов на протяжении двух заданных временных интервалов. Волновые режимы рассчитаны для волноопасных румбов для каждой градации скорости ветра. Для точки расчета волноопасными являются западные, северо-западные, северные и северо-восточные румбы, так как ветры этих направлений способны формировать волны значимой высоты. При ветрах южных румбов прибрежная акватория Фанагории прикрыта берегом, и пространства для формирования волн недостаточно. По результатам расчета, в интервале 200–100 гг. до н. э. ввиду уве-

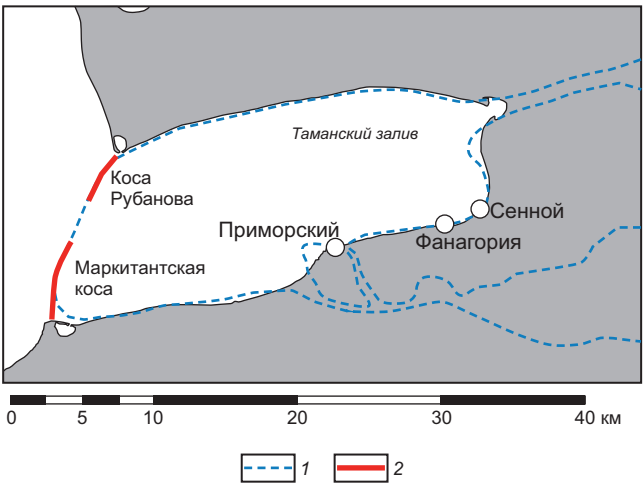


Рис. 5. Контуры водоема, принятые для моделирования и положение кос Маркитантской и Рубанова: 1 — контур Корокондамитского озера, 2 — косы

личения глубин моря высота волн увеличилась для всех волноопасных румбов (табл. 1) по сравнению с интервалом 400–200 гг. до н. э.

Расчет вдольберегового переноса. На основе вышеприведенных данных выполнен расчет волнового режима, так как при отсутствии стабильных течений именно волнение является основным переносчиком осадочного материала. Численная оценка параметров вдольберегового переноса выполнена по модели LOND2D, разработанной И.О. Леонтьевым [2014]. В основе модели лежит связь интегрального вдольберегового расхода наносов (Q_y), с продольной составляющей потока энергии (F_y), который генерируют подходящие к берегу волны. Значение Q_y соответствует расходу потока наносов в расчетном створе в случае его полного насыщения, т. е. емкости вдольберегового потока наносов при данных волновых условиях.

Результаты моделирования (табл. 2) показывают, что в течение обоих изучаемых интервалов преобладающий перенос происходил с востока на запад и составлял 3,2–3,9 тыс. м³ в год.

Расчет влияния гидротехнического сооружения на вдольбереговой перенос. Расчет изменений контура береговой линии после постройки причала выполнен по методу И.О. Леонтьева [2018]. Эта модель предполагает, что накопление наносов с наветренной стороны сооружения сопровождается

Таблица 1

Расчетные высоты волн (м) при разных скоростях ветра (м/с)

Румб Скорость ветра, м/с	З		СЗ		С		СВ	
	Период 400–200 гг. до н.э.	Период 200–100 гг. до н.э.	Период 400–200 гг. до н.э.	Период 200–100 гг. до н.э.	Период 400–200 гг. до н.э.	Период 200–100 гг. до н.э.	Период 400–200 гг. до н.э.	Период 200–100 гг. до н.э.
1–5	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06
6–10	0,24	0,28	0,23	0,26	0,21	0,23	0,19	0,21
11–15	0,34	0,4	0,33	0,39	0,31	0,35	0,29	0,33
16–20	0,41	0,49	0,4	0,48	0,38	0,44	0,37	0,43

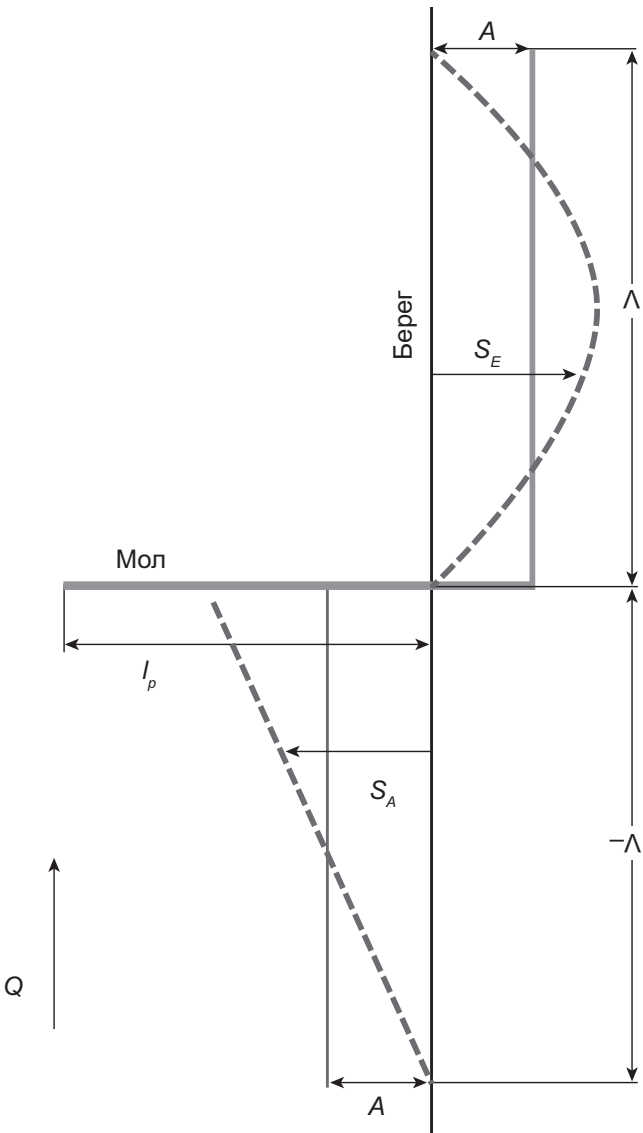


Рис. 6. Схема к расчету изменения контура берега при устойчивом вдольбереговом потоке наносов (Q) под влиянием препятствия согласно [Леонтьев, 2018]

выдвижением берега на расстояние S_A , а с подветренной стороны сооружения берег отступает на величину S_E . Смещение S_A аппроксимируется линейной функцией, а S_E — полуволной синусоиды (рис. 6). Соответственно, значения S_A и S_E зависят от среднего смещения береговой линии A и протяженности области влияния сооружения L .

Полученные значения S характеризуют средние смещения берега за 1 год. Если литодинамические условия остаются постоянными в течение продолжительного времени, то значения A и L в зависимости от количества лет увеличиваются согласно формулам:

$$A_t = A\sqrt{t} \text{ и } L_t = L\sqrt{t}.$$

Эти зависимости действительны до тех пор, пока среднее выдвижение берега у причала значительно меньше длины сооружения, т. е. $A_t/l_p \ll 1$.

На основе установленных объемов вдольберегового переноса определена интенсивность перемеще-

Таблица 2

Расчетные объемы годового вдольберегового переноса осадков, м³ в год

Период	Восток	Запад	Суммарный (на запад)
400–200 гг. до н.э.	2704	5920	3216
200–100 гг. до н.э.	3818	7729	3911

ния береговой линии в сторону моря с восточной стороны причала и в сторону берега — с западной стороны. Расчет показывает, что к 200 г. до н.э. аккумулятивная терраса с восточной стороны причала, сформированная преобладающим переносом песчаных осадков с востока на запад, достигла мористой оконечности сооружения (рис. 7, а). Таким образом, уже на рубеже 200–100 гг. до н.э. песчаные осадки начали огибать оконечность причала и осаждаться вдоль его западного борта.

Согласно модели, около 200 г. до н.э. из-за повышения уровня моря урез воды сместился в сторону берега на 28 м, что сократило площадь аккумулятивной площадки. Но при этом повышение уровня моря значительно ускорило перенос и накопление наносов с восточной стороны причала из-за увеличения высоты волнения (табл. 1). Уже к 180 г. до н.э. расчетные очертания аккумулятивной косы расположены значительно мористее оконечности причала (рис. 7, б). В действительности, в этот период аккумулятивная терраса с восточной стороны сооружения не расширяется, так как осадочный материал, поступающий с востока, огибает причал и откладывается к западу от него.

Значительные различия формы аккумулятивной террасы, смоделированные по состоянию на 200 г. до н.э. и на 180 г. до н.э., условны, так как факторы, влияющие на скорость осадконакопления (повышение уровня моря, увеличение количества волновой энергии и объемов переносимого вдоль берега материала), изменялись постепенно.

Обсуждение результатов. На основе результатов моделирования и с учетом датировки археологических находок возможно реконструировать следующее развитие событий.

Строительство большого причала Фанагории началось не позднее 400 г. до н.э. в обстановке вдольберегового переноса осадков с востока на запад. Вероятно, что для швартовки судов изначально планировали использовать обе стороны причала и выстроили оба борта в виде отвесных стенок. Но как только причал стал препятствовать вдольбереговому переносу осадков, с его восточной стороны начала формироваться аккумулятивная терраса (рис. 7; 8, а). Объем поступающих осадков оказался столь значительным, что за 200 лет (400–180 гг. до н.э.) эта аккумулятивная терраса сформировалась по всей длине восточной стороны причала, что исключило ее использование для швартовки судов. Необычайно крупная ширина большого причала

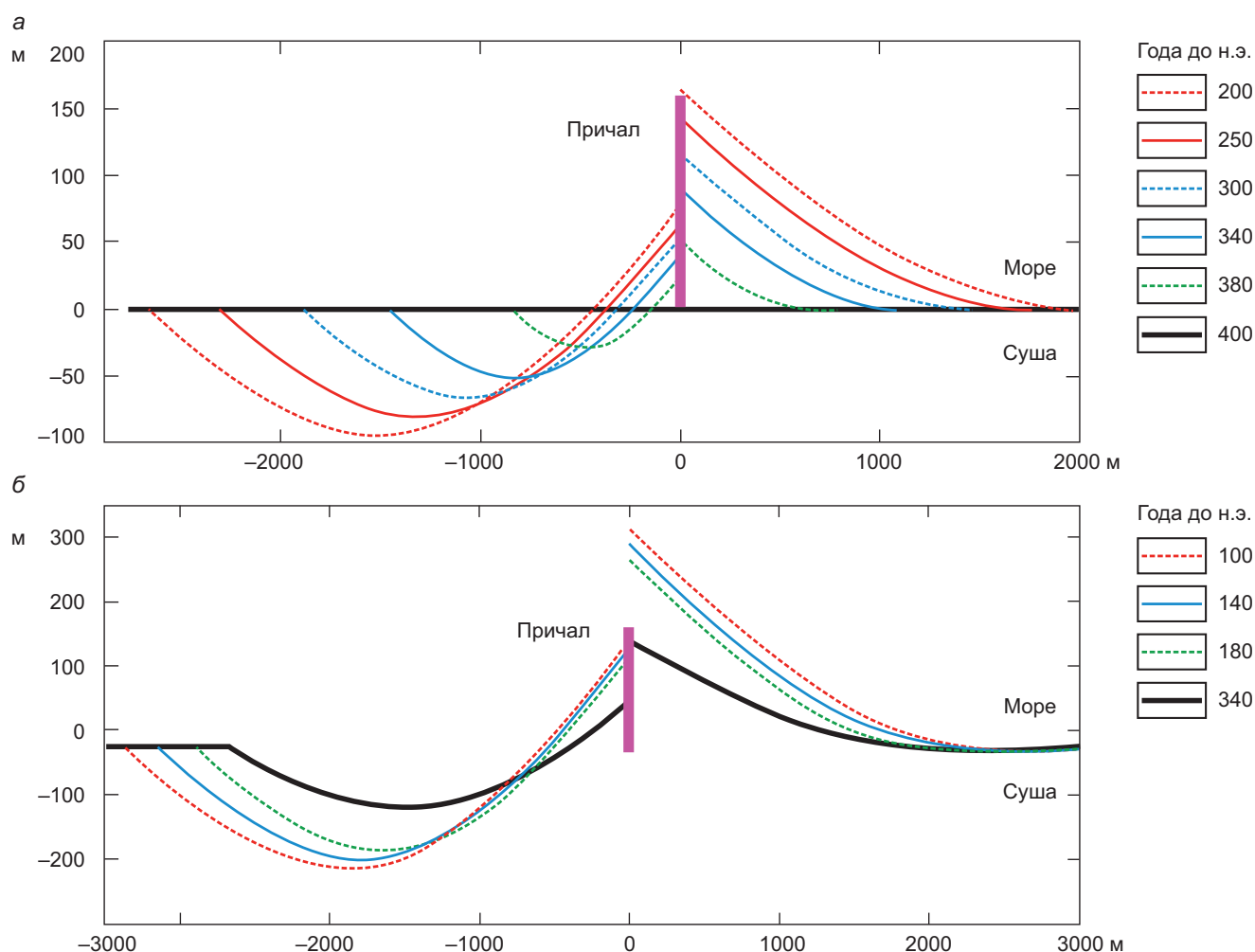


Рис. 7. Изменение контура берега под влиянием причала: а — в интервале 400–200 гг. до н.э., б — в интервале 200–100 гг. до н.э.

может объясняться тем, что на протяжении длительного времени горожане мостили камнем постоянно расширяющуюся песчаную отмель с его восточной стороны, в результате получая возможность полноценно использовать эту намывную территорию для складирования товаров, зимней стоянки судов, а возможно и для размещения верфи. Одновременно с западной стороны причала происходило отступление берега и накопление осадков вблизи уреза воды (рис. 7; 8, б).

Мы полагаем, что строительство большого причала продолжалось на протяжении века не только потому, что необходимый для этого каменный материал поступал в Фанагорию порционно и в ограниченных объемах, но и из-за дополнительных объемов работ, связанных с постройкой защитной насыпи и отмошкой песчаной отмели вдоль восточного борта причала.

Главной задачей строителей, несомненно, являлось предотвращение замыкания осадками западного борта причала, так как уменьшение глубин вдоль причальной стенки могло затруднить или вовсе помешать подходу судов на разгрузку и погрузку (рис. 8, б). Для предотвращения такого развития событий к большому причалу Фанагории пристроили

малый причал, ориентированный на северо-запад и выполнявший 2 основные функции: он защищал южную часть западного борта от морских наносов и увеличил длину причальной стенки (рис. 8, в). В ковше между большим и малым причалами начали скапливаться штормовые осадки, при этом южная часть причальной акватории оказалась относительно защищена от последствий вдольберегового переноса и штормов.

О синхронности строительства большого и малого причалов свидетельствуют сходные высоты их кровли, сходный состав каменного материала, сходная конструкция, сходные комплексы археологических находок, сходный радиоуглеродный возраст находок из органических материалов.

Результаты моделирования показали, что в случае отсутствия малого причала уже в I в. до н. э. суда не смогли бы подойти к западному борту большого причала из-за обмеления прилегающей акватории. При этом находка военного корабля, затонувшего у оконечности малого причала в 63 г. до н. э., демонстрирует, что к этому времени глубина моря составляла здесь не менее 1 м, что обеспечивало морским судам возможность подхода к причалу Фанагории [Boetto, et al., 2022].

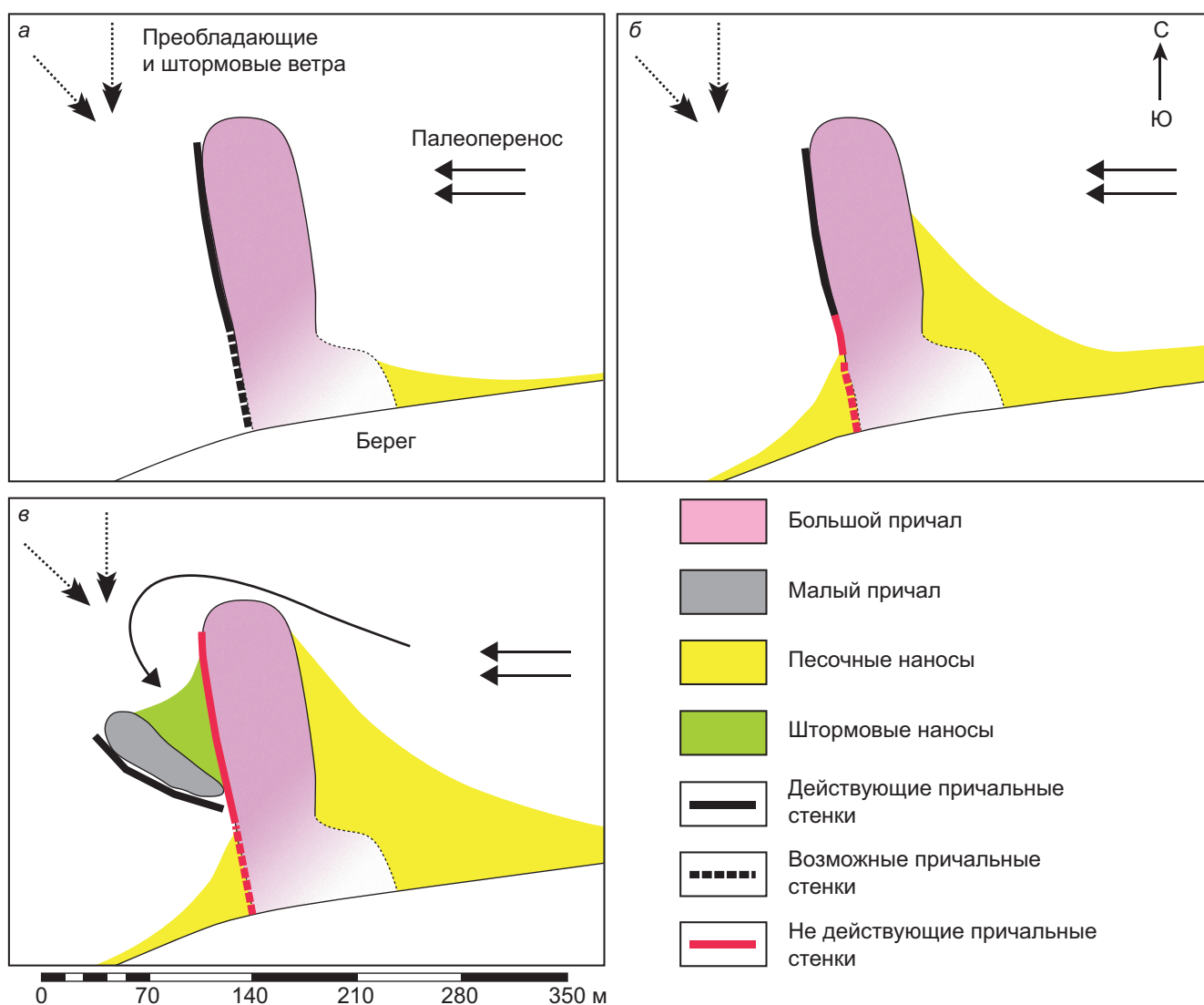


Рис. 8. Развитие аккумулятивных тел вокруг причала Фанагории: а — фаза аккумуляции осадков с восточной стороны (V–IV вв. до н.э.), б — фаза аккумуляции осадков с обеих сторон, в — фаза накопления осадков после строительства малого причала

Заключение. В I тыс. до н.э. вдольбереговой перенос осадков у южного берега Корокондамитского озера был ориентирован с востока на запад, т.е. противоположно современному направлению.

Одновременно с началом строительства большого причала Фанагории (не позднее 400 г. до н.э.) с его восточной стороны началось накопление песков. За 200–220 лет аккумулятивная терраса достигла северной оконечности причала, и вдольбереговой перенос начал размывать и западный борт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Артюхин Ю.В. Учет геологических факторов при изучении истории античной и средневековой колонизации Таманского полуострова // Боспорские исследования. Вып. XXIV. 2010. С. 321–329.

Гайдаленок О.В., Шматков А.А., Шматкова А.А., Ольховский С.В. Результаты сейсмоакустического профилирования дна Таманского залива в районе античного города Фанагория // Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т. 18, № 4. С. 184–190.

Малый причал эффективно решил 2 проблемы: защитил причальные стенки от замывания вдольбереговым переносом и от накопления штормовых осадков с западных направлений. Морские суда могли подходить к причальным стенкам порта Фанагории как минимум до середины I в. до н.э.

Финансирование. Часть исследования, связанная с гидро- и литодинамическими расчетами, выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE–2024–0018).

Гарбузов Г.П. «Страбонов» рукав Кубани и хора Фанагории // Фанагория. Результаты археологических исследований. Материалы по археологии и истории Фанагории. Т. 4. М., 2016. С. 34–45.

Голофаст Л.А., Ольховский С.В. Комплекс керамики из подводного фундамента в акватории Фанагории // Фанагория. Результаты археологических исследований. Т. 4. Материалы по археологии и истории Фанагории. Вып. 2. М., 2016. С. 46–82.

- Горлов Ю.В., Поротов А.В., Янина Т.А. и др. К вопросу об историко-географической ситуации на Таманском полуострове в период греческой цивилизации // ПИФК. 2002. Т. XII. С. 248–257.
- Дикарев В.А. Динамика берегов Таманского и Керченского полуостровов в условиях изменения уровня моря // Экосистемы: экология и динамика. 2018. Т. 2, № 4. С. 61–74.
- Кузнецов В.Д. Афины и Боспор: хлебная торговля // Российская археология. 2000. № 1. С. 107–120.
- Кузнецов В.Д. О времени основания Фанагории // Древности Боспора. 2010. № 14. С. 313–321.
- Кузнецов В.Д., Ольховский С.В. Некоторые итоги подводных исследований в Фанагории (1998–2015 гг.) // Фанагория. Результаты археологических исследований. Т. 4. М., 2016. С. 325–352.
- Лаппо Д.Д., Стрекалов С.С., Завьялов В.К. Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения / Под ред. Д.Д. Лаппо Л.: ВНИИГ, 1990. 432 с.
- Леонтьев И.О. Изменение контура берега, вызванное поперечным сооружением в береговой зоне моря // Геоморфология. 2018. № 3. С. 32–39.
- Леонтьев И.О. О расчете вдольберегового транспорта наносов // Океанология. 2014. Т. 54, № 2. С. 226–232.
- Мануилова Е.А., Хотылев О.В., Ольховский С.В. и др. Палеогидросеть Таманского полуострова по материалам дистанционного зондирования // КСИА. Вып. 272. 2023. С. 452–467.
- Навроцкая С.Е., Чубаренко Б.В., Андрианова О.Р., Белевич Р.Р. Многолетние изменения уровня моря в районах лагунных берегов Балтийского и Черного морей // География и природные ресурсы. 2016. № 4. С. 55–65.
- Никонов А.А. Затопленные остатки античных сооружений по берегам Боспора Киммерийского (в связи с проблемой изменения уровня моря) // Российская археология. 1998. № 3. С. 57–66.
- Ольховский С.В., Степанов А.В. Магнитометрические разведки в акватории Фанагории // Вопросы подводной археологии. 2013. № 4. С. 53–58.
- Паромов Я.М. Краеугольный камень Таманской палеогеографии // Краткие сообщения Института археологии. № 241. 2015. С. 137–153.
- Петрусович М.Н. Аэрометоды при геологических исследованиях. М., 1961.
- Поротов А.В. Изменения уровня Черного моря в голоцене на основе геоархеологических индикаторов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2013. № 1. С. 76–82.
- Поротов А.В. Палеогеоморфологические условия Азовского побережья Керченского побережья в античное время // Боспорские исследования. 2018. № 38. С. 43–53.
- РД 52.10. 865-2017 «Руководство по расчету режимных характеристик морского волнения». М.: ФГБУ «ГОИН», 2018.
- Румянцев О.С., Ольховский С.В. Импорт стекла на Тамань в позднеримское время: первые результаты и проблема интерпретации // Российская археология. 2015. № 2. С. 86–100.
- Смекалова Т.Н., Восс О., Мельников А.В. Магнитная разведка в археологии. 12 лет применения Оверхаузеровского градиентометра GSM-19WG. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет, 2007. 73 с.
- Филиппов Ю.Г. О возможных изменениях в прибрежной зоне юго-восточной части Азовского моря при повышении уровня моря // Тр. Гос. океанографического института. 2015. № 216. С. 86–95.
- Хотылев А.О., Ольховский С.В., Хотылев О.В. и др. О некоторых методах изучения каменного материала археологических объектов // КСИА. 2024. № 274. С. 369–388.
- Хотылев А.О., Копачев Л.Ф., Прошина П.А. и др. Поставки строительного камня в Северное Причерноморье в середине 1-го тысячелетия до н. э. по данным микропалеонтологического анализа // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2023. № 1. С. 3–19.
- Хотылев А.О., Ольховский С.В., Майоров А.А. и др. Применение методов изотопной геохронологии для локализации регионов импорта каменного материала // Российские нанотехнологии. 2022а. Т. 17, № 5. С. 603–615.
- Хотылев А.О., Хотылев О.В., Ольховский С.В., Майоров А.А. Каменный материал некоторых построек акрополя Фанагории // Проблемы истории, филологии, культуры. 2022б. № 3. С. 51–70.
- Boetto G., Poveda P., Olkhovskiy S. The Hellenistic Shipwreck of Phanagoria (Taman Peninsula, Black Sea, Russia): A Small Military Vessel // International Journal of Nautical Archaeology. 2022.
- Brückner H., Kelterbaum D., Marunchak O., et al. The Holocene sea level story since 7500 BP — Lessons from the Eastern Mediterranean, the Black and the Azov Seas // Quaternary International. 2010. № 225. P. 160–179.
- Fouache E., Kelterbaum D., Brückner H., et al. The Late Holocene evolution of the Black Sea e a critical view on the so-called Phanagorian regression // Quaternary International. 2012. 266. P. 162–174.
- Lanza R., Meloni A. The Earth's Magnetism — An Introduction for Geologists. Springer. Berlin; Heidelberg; New York, 2006.

Статья поступила в редакцию 13.02.2025,
одобрена после рецензирования 23.05.2025,
принята к публикации 28.08.2025