

УДК 551.435.36,551.35

## СОСТАВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДКОВ АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ

© 2020 г. Р. Д. Косьян<sup>1, \*</sup>, А. Р. Косьян<sup>2</sup>, В. В. Крыленко<sup>1</sup>, Е. А. Федорова<sup>1</sup><sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия<sup>2</sup>Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

\*e-mail: rkosyan@hotmail.com

Поступила в редакцию 28.08.2019 г.

После доработки 26.11.2019 г.

Принята к публикации 12.12.2019 г.

Дана характеристика состава современных донных и пляжевых наносов крупного аккумулятивного тела – Анапской пересыпи. Показано, что крупность песка увеличивается в направлении от краев пересыпи к ее центру и от глубины 7 м к пляжу. При сравнении данных 2012–2018 гг. видно, что в целом крупность и состав песка существенно не изменились. Доля карбонатов в песках составляет в среднем 11%, но сильно варьирует в зависимости от морфологического положения на поперечно-береговом профиле. Среднегодовое поступление на пляж раковинных остатков по всей длине пересыпи составляет более 4000 т. Анализ динамики биомассы массовых видов двустворчатых моллюсков в 2016–2018 гг. показывает, что увеличение карбонатной составляющей в осадках не связано напрямую с увеличением биомассы живых моллюсков на дне.

**Ключевые слова:** Анапская пересыпь, пляжи, наносы, гранулометрический состав, карбонаты, биомасса, *Chamelea gallina*, *Donax trunculus*, Черное море

**DOI:** 10.31857/S0030157420020057

## ВВЕДЕНИЕ

Курорт Анапа занимает ведущее место на российском рынке санаторно-курортного и детского отдыха [34]. Одной из основных ценностей курорта являются песчаные пляжи Анапской пересыпи, представляющей крупную аккумулятивную форму, расположенную в северо-западной части кавказского побережья Черного моря между Таманским п-вом на севере и Анапским мысом на юге. Длина пересыпи около 45 км [21], ширина – от 80 м в северной части до 1.5 км в южной (рис. 1).

Анапская пересыпь сложена преимущественно кварцевым песком с примесью ракушечного материала. В составе отложений также присутствует гранат, кварциты, полевой шпат и др. Характерной особенностью Анапской пересыпи является наличие развитых эоловых аккумулятивных форм и вдольбереговых подводных валов [12, 14, 15, 21]. Пояс дюн высотой до 15 м имеет ширину 50–170 м, причем наблюдается как разрушение существующих дюн, так и формирование новых [23, 26]. На подводном склоне имеется 1–3 субпараллельных вала, конфигурация и рельеф которых изменяется в зависимости от гидродинамической ситуации [2, 9, 13, 26, 48]. Материал подводных валов находится в непрерывном движении, но не покидает литодинамическую систему. В последние десятилетия наблюдаются [26]

признаки деградации пляжей Анапской пересыпи (на некоторых участках их ширина сократилась на 50 м), что требует принятия незамедлительных мер по их защите и восстановлению. Для эффективного использования и охраны Анапской пересыпи от неблагоприятных природных и антропогенных воздействий необходимо комплексное изучение всех компонентов ее геосистемы, протекающих лито- и гидродинамических, биологических процессов [19–21].

Вопросом о происхождении как самой пересыпи, так и слагающего ее материала, впервые занялся А.Ф. Флёрв в своих работах, посвященных песчаным ландшафтам Черноморских побережий [36, 37]. В 1951–1952 гг. изучением вопросов стратиграфии, геоморфологии и истории развития пересыпи занимался Е.Н. Невеский. Он произвел морские работы, сделав на участке пересыпи и далее к западу 12 морских разрезов, детально осветивших строение подводного берегового склона [31–33]. Большую работу по изучению литодинамических процессов Анапской пересыпи проделали сотрудники Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Тут проводили исследования Зенкович [11–15], Лонгинов [29], Айбулатов [1–4] и многие другие. Изучением происхождения и динамики подводных валов, играющих важную роль в гидро-литодинамической системе пересыпи, занимался Егоров [9–11],

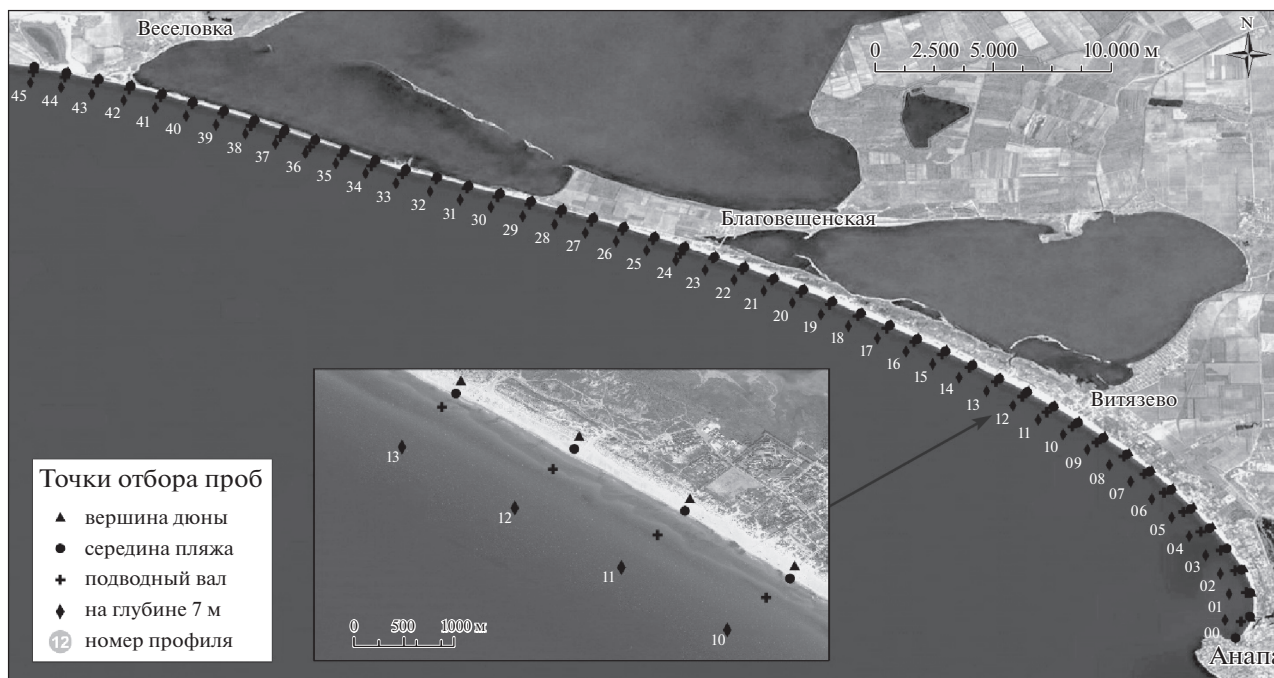


Рис. 1. Расположение точек отбора проб материала для гранулометрического анализа.

им же были проведены здесь и первые морские разрезы. В 1977 г. в районе пос. Витязево проводились исследования движения взвешенного материала, включая зону валов. Получены важные данные по гранулометрическому составу подводного склона Анапской пересыпи [5].

Сотрудниками географического факультета МГУ П.А. Каплиным, А.В. Поротовым и др. [17] проведены комплексные палеогеографические исследования, направленные на реконструкцию изменения уровня Черного моря за последние 3–4 тыс. лет, выявление региональных особенностей развития побережья, в частности, условий формирования Бугазской пересыпи. Я.А. Измайлов выполнил реконструкцию истории формирования Анапской пересыпи, в том числе — анализ происхождения слагающего ее материала [16]. В целом, определение бюджета наносов всей литодинамической системы Анапской пересыпи является проблемой, не решенной до настоящего времени. Определением бюджета наносов в целом для побережья Черного моря занимался Ю.Д. Шуйский, он привел наиболее значимые приходные и расходные статьи бюджета наносов [38, 39]. Как указывает Сафьянов [8, 35], ведущим процессом расхода наносов является их потеря на создание аккумулятивных форм рельефа и на выход за морскую границу береговой зоны. Из береговой зоны выносятся в основном мелкозернистый материал, тогда как на создание аккумулятивных форм в основном расходуется крупнообломочный. Важным элементом литодинамического ба-

ланса Анапской пересыпи являются эоловые процессы: потери песка из-за преобладания ветров в сторону берега превышают поступление осадков в береговую зону. Первые исследования эоловых процессов на Анапской пересыпи были выполнены Егоровым [10]. Н.А. Айбулатовым в районе Витязево был проведен цикл измерений и построен график зависимости между скоростью ветра и объемом перемещающихся масс песка [2].

Наиболее обширная информация, касающаяся как теоретических аспектов эолового процесса на морском берегу, так и количественных характеристик по реальным измерениям на песчаных косах и пересыпях северо-запада Черного моря, приведена в монографии Выхованец [6]. Ее многолетние исследования, дополненные анализом работ других авторов, раскрыли взаимосвязи между рельефом, растительностью, составом и состоянием поверхности наносов, эволюцией эоловых форм. В свою очередь, подобные взаимосвязи непосредственно на Анапской пересыпи много лет исследует Кравцова [23–25], на основе натуральных и дистанционных исследований составившая детальную карту ландшафтно-морфологической структуры всей Анапской пересыпи.

Вопрос о роли сообществ живых организмов в балансе карбонатных пляжей активно исследуется зарубежными авторами. Обзор современных осадочных карбонатов и слагаемых ими пляжей дан в монографии Milliman [49], но данных для понимания функционирования и эволюции литодинамической системы еще недостаточно [45].

Одним из источников пляжеобразующего материала для Анапской пересыпи является выброс ракушки с прилегающих пространств морского дна. Важнейшей чертой этой составляющей бюджета наносов является, с одной стороны, непрерывное возобновление в ходе воспроизводства бентоса, с другой — более быстрое истирание раковин в сравнении с кварцевым песком. Скорость абразии раковин моллюсков исследовали Chave [40], Driscoll [42], Force [44]. В серии опытов по испытанию на прочность во вращающемся барабане, в котором в качестве абразионного агента использовался кремнистый сланец, Chave [40] показал, что раковины моллюсков и частицы кораллов истираются существенно медленнее, чем фрагменты скелетов мшанок, баянусов и морских ежей. Только 16% моллюсков размером 4–8 мм истерлось после 1400 ч вращений барабана при скорости 60 оборотов в мин, что соответствует перемещению на 3500 км. Эти данные дают основания полагать, что на пространствах с крупнозернистыми карбонатными осадками, подверженных длительному влиянию энергий высоких мощностей, каковыми являются пляжи, механическая абразия является важным, хотя и медленным процессом. Основному воздействию выброшенные со дна моря раковины моллюсков подвергаются у уреза воды, в прибойной зоне. Изменения областей распространения, видового состава, численности и биомассы живых черноморских моллюсков, происходящие в последние десятилетия [30], отражаются на объемах аккумуляции раковин в прибрежных осадках.

Важным элементом изучения современной трансформации геосистемы Анапской пересыпи является исследование пространственных характеристик состава современных наносов и их динамики, а также выявление взаимосвязи этих изменений с лито- и гидродинамическими процессами. Кроме того, данные о механическом составе наносов необходимы для математического моделирования гидролитодинамических процессов [22]. В рамках данной работы представлены результаты гранулометрического анализа осадков, слагающих Анапскую пересыпь, и дана количественная оценка роли раковин живых двусторчатых моллюсков в их восполнении.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С 2012 по 2018 гг. на Анапской пересыпи ежегодно производился отбор проб наносов для комплексного анализа. Одновременно выполнялись батиметрическая съемка, водолазное обследование подводного склона с описанием состояния донных отложений, исследование рельефа морфологических зон пляжа и дюнного пояса.

Для площадного гранулометрического анализа осадков в 2012 и 2015 гг. вдоль всей Анапской

пересыпи были отобраны пробы по створам, расположенным через 1 км (всего 46 створов и 184 пробы). Для отбора проб были определены наиболее репрезентативные (с точки зрения условий формирования состава наносов) морфологические элементы рельефа [27, 28, 43]. Пробы отбирались на вершине дюны, в середине пляжа, на гребне наиболее выраженного подводного вала (глубина над гребнем вала варьируется от 1.3 до 4.1 м) и на подводном береговом склоне (фиксированная глубина 7 м — мористее зоны формирования подводных валов). Для мониторинговых исследований в другие годы пробы отбирались на отдельных створах. Пробы отбирались точечным методом из поверхностного слоя (10–15 см). Такая толщина исследуемого слоя позволяет снизить влияние на статистические показатели гранулометрического состава ракушечных остатков, образующихся на поверхности грунта под влиянием ветра или течений.

Анализ гранулометрического состава образцов проводился в лаборатории литодинамики и геологии ЮО ИО РАН. Разделение на фракции осуществлялось ситовым методом без промывки водой: образцы грунта высушивались на воздухе до постоянной массы, а потом просеивались через сита. Для анализа гранулометрического состава проб использовался сепаратор-просеивающий СПЭ, оснащенный ситовым набором СЛМ-200. Были получены данные со следующими диапазонами размеров фракций в мм:  $\geq 9.5$ ; 9.5–7.5; 7.5–5.0; 5.0–4.0; 4.0–3.0; 3.0–2.5; 2.5–2.0; 2.0–1.6; 1.6–1.25; 1.25–1.0; 1.0–0.8; 0.8–0.63; 0.63–0.5; 0.5–0.4; 0.4–0.315; 0.315–0.25; 0.25–0.2; 0.2–0.16; 0.16–0.125; 0.125–0.1; 0.1–0.08; 0.08–0.063; 0.063–0.05; 0.05–0.04;  $\leq 0.04$  мм. Более мелкие фракции не исследовались, так как их влияние на литодинамические процессы береговой зоны Анапской пересыпи ничтожно.

Типизация грунтов и обработка результатов механического анализа проводилась с учетом нормативов ГОСТ 25100-2011 “Грунты. Классификация” [7]. Пески подразделялись на пять классов: грубые пески (2–1 мм), крупные (1–0.5 мм), средние (0.5–0.25 мм), мелкие (0.25–0.10 мм), тонкие (0.10–0.05 мм). Для графического представления результатов и анализа вдольбереговой изменчивости крупности наносов использовался показатель  $D_{50}$ .  $D_{50}$  — диаметр, определяющий границу, ниже и выше которой находится 50% частиц (средний диаметр частиц).  $D_{50}$  определяется по кривой неоднородности грунта, построенной в полулогарифмических координатах.

Кроме того, для анализа вещественного состава использовался цифровой микроскоп с коэффициентом увеличения 10×–300× и возможностью цифровой фото- и видеосъемки проб. Определение содержания карбонатной и минеральной

составляющей проводилось с помощью 30% раствора соляной кислоты. Согласно [13, 16], в составе отложений Анапской пересыпи фактически отсутствуют терригенные карбонаты, характерные как для современных наносов реки Кубань, так и для наносов флишевых берегов южнее Анапы. Таким образом, все выделенные карбонаты мы относили к продуктам жизнедеятельности раковинных моллюсков.

Отбор проб двустворчатых моллюсков для расчета объемов поступающего в осадки раковинного материала производился водолазами на разрезах 7, 18, 24, 29 и 40 со станциями на глубинах 2, 6 и 10 м в 2016–2018 гг. Пробы отбирались в трех повторностях с рамки площадью 0.1 м<sup>2</sup>. Собирали слой песка под рамкой толщиной около 3 см, просеивали сквозь сито с ячейей 1 мм и отбирали живых моллюсков, которых затем обсушивали на воздухе, считали, взвешивали с точностью до 0.1 г и измеряли длину раковины от переднего аддуктора к заднему с помощью штангенциркуля с точностью до 0.1 мм. Возраст живых моллюсков определялся по линиям наружного роста на раковине [50].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Механический и вещественный состав осадков.

По результатам гранулометрического анализа во всех морфологических зонах Анапской пересыпи (подводный склон, подводные валы, пляж, дюны) преобладают мелкие пески и пески средней крупности (рис. 2). На подводном береговом склоне вдоль всей пересыпи на глубине 7 и более метров преобладают мелкие пески. На подводных валах только в трех створах (22, 23, 25) в 2015 г. преобладал песок средней крупности, на всех остальных – мелкий песок. Наиболее разнообразен механический состав пляжевых отложений: в створе 14 преобладает грубый песок, в створах 18, 19, 20 и 25 – крупный, в створах 9 и 14–44 песок средней крупности, на створах 0–8, 10–13 и 45 – мелкий песок. На дюнах преобладает мелкий песок, лишь на створах 18–29 и 33–44 – песок средней крупности.

При рассмотрении вдольберегового изменения размера частиц заметно, что крупность песка увеличивается в направлении от краев пересыпи к ее центру (рис. 2). Вероятно, это обусловлено значительно более интенсивным волновым воздействием в центральной части пересыпи. Экралирующее влияние мысов у краев пересыпи способствует ослаблению волн и накоплению более мелких частиц.

В поперечном изменении гранулометрического состава наблюдаются следующие закономерности: на пляже обнаруживается более крупный, плохо отсортированный песок, на дюнах и под-

**Таблица 1.** Содержание карбонатов по фракциям в процентах от общего веса фракции (данные 2015 г.)

№ створа	Фракции			
	>2.5	2.5–0.4	0.4–0.16	<0.16
7 вал	94.6	93.5	11.2	6.6
18 вал	100.0	88.8	10.0	5.9
18 пляж	97.4	93.1	14.9	10.2
24 вал	90.4	90.5	10.5	4.4
24 пляж	100.0	88.5	15.2	7.4

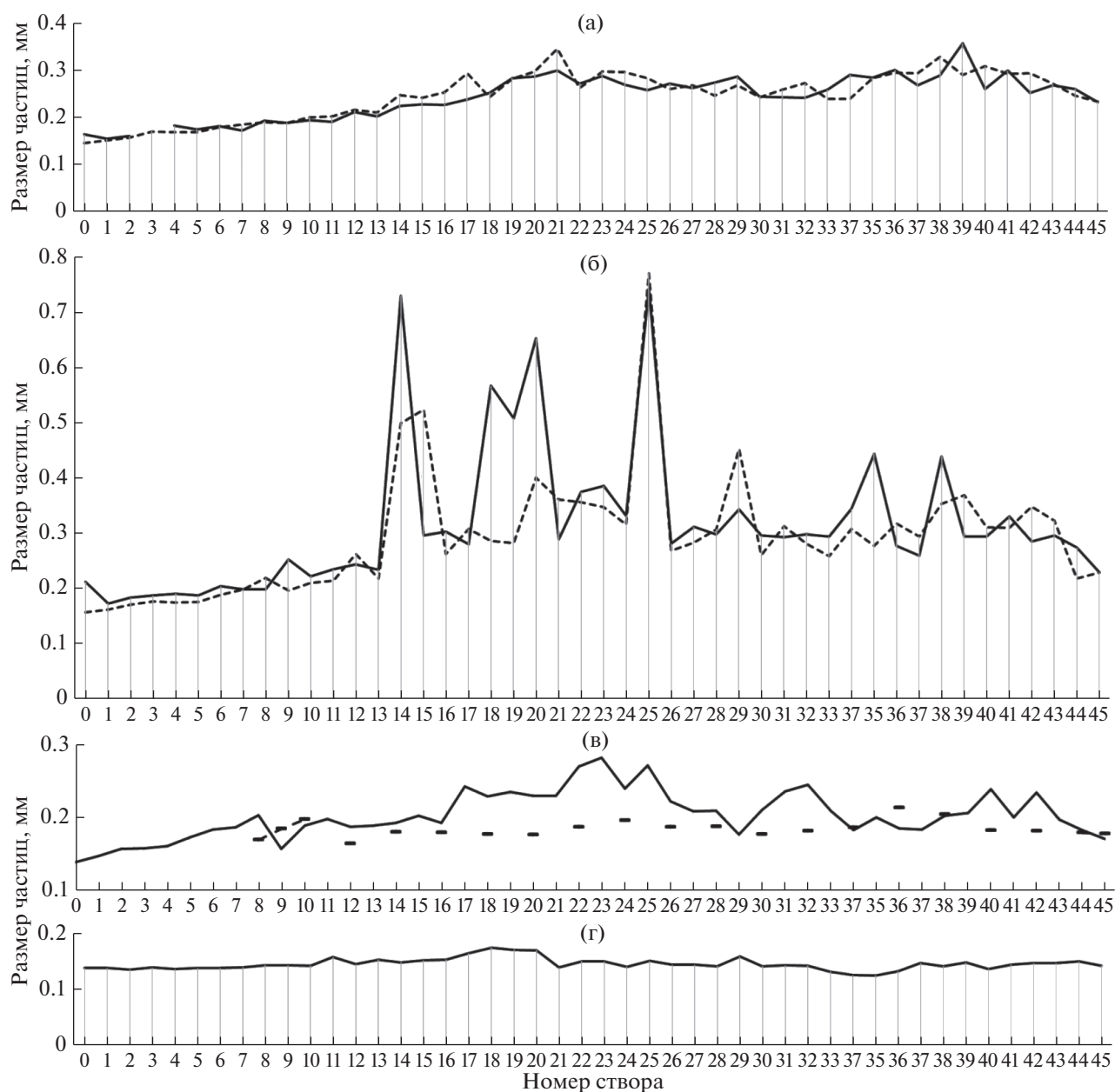
водных валах песок мелкий и средней крупности, который в целом хорошо отсортирован, на глубине 7 м песок мелкий и хорошо сортированный. В распределении гранулометрического состава на подводных валах наблюдается зависимость от глубины над вершиной вала – чем глубже, тем мельче песок (рис. 3). Такая закономерность может отражать интенсивность движения воды над гребнем вала, более высокую на меньших глубинах. На дюнах же наблюдается зависимость от высоты дюны – чем выше, тем мельче песок (рис. 4). Вероятно, это обусловлено параметрами ветрового потока, не способного поднять более крупные частицы на большую высоту.

При анализе кривых распределения гранулометрического состава осадков Анапской пересыпи хорошо видно, что до 60% массы отложений на пляже и дюнах представлено фракцией 0.16–0.3 мм. В кривых распределения гранулометрического состава пляжевых отложений также присутствуют дополнительные пики, в которых содержание фракции 0.5–0.6 мм достигает 25%, фракции более 1 мм – 15%. На подводных валах до 60% материала представлено фракцией 0.16–0.25 мм, а также до 10% – фракцией 0.6 мм. На глубине 7 м до 60% материала представлено фракцией менее 0.18 мм (рис. 5).

Отметим также, что в составе песка крупностью до 0.4 мм на 85–96% преобладают минеральные составляющие (кварц, кварциты, гранат, полевой шпат и др.), а песок крупнее 0.4 мм состоит в основном из обломков раковин. Данный факт подтверждается как визуальным анализом вещественного состава (рис. 6), так и химическим анализом (табл. 1).

При сравнительном анализе данных 2012–2018 гг. видно, что крупность и состав песка существенно не изменились (рис. 2 и 7), что указывает на относительную стабильность Анапской пересыпи.

**Биогенные карбонаты.** Основными производителями карбонатов в песках пересыпи являются два наиболее массовых вида двустворчатых моллюсков: *Chamelea gallina* (хамелии) и *Donax trunculus* (донаксы). Их продуктивность в разные годы



**Рис. 2.** Вдольбереговое изменение крупности наносов (выражено в  $d_{50}$ ) в 2012 г. (пунктирная линия) и 2015 г. (сплошная линия) годах по морфологическим зонам: (а) — дюны; (б) — пляж, (в) — гребень подводного вала (в 2012 г. пробы отбирались не по всем створам); (г) — глубина 7 м (в 2012 г. пробы не отбирались).

на разных створах и глубинах неодинакова (табл. 2). Так, в 2017–2018 гг. по сравнению с 2016 г. наблюдалось значительное сокращение биомассы практически по всем точкам отбора.

Доля карбонатов в песках колебалась от 3 до 32%, составляя в среднем 11% (табл. 3), при этом увеличение карбонатной составляющей в донных осадках не связано напрямую с увеличением биомассы живых моллюсков на данном участке (обнаружена лишь очень слабая обратная зависимость этих величин,  $r = -0.22$ ). Вероятно, раз-

личная доля карбонатов в осадках отдельных участков пересыпи объясняется вдольбереговой миграцией наносов, нежели распределением моллюсков на дне.

Количество раковин моллюсков, ежегодно поступающих в осадки пересыпи, оценено по следующей схеме (табл. 4). Судя по данным, полученным в 2010 г. [18], и подтвержденных нами в 2016–2018 гг., пояс массового развития хамелий находится на глубинах 6–10 м, а донаксов — 2–10 м. Масса раковины хамелии составляет в сред-

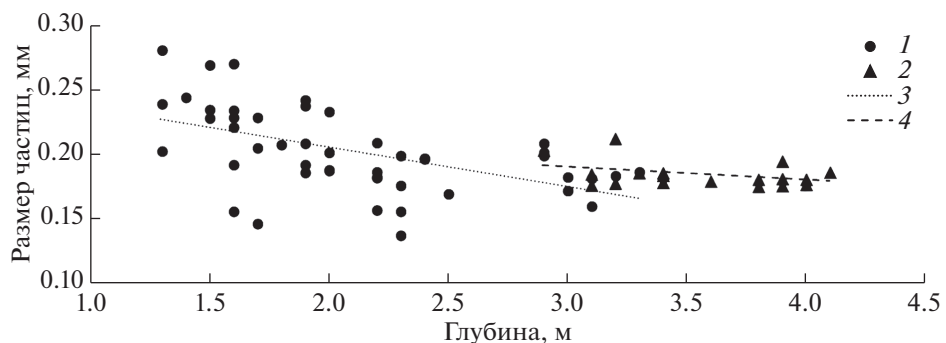


Рис. 3. Распределение  $d_{50}$  в зависимости от глубины подводного вала по данным 2015 и 2012 гг. 1 – 2015 г., 2 – 2012 г., 3 – линейная (2015), 4 – линейная (2012).

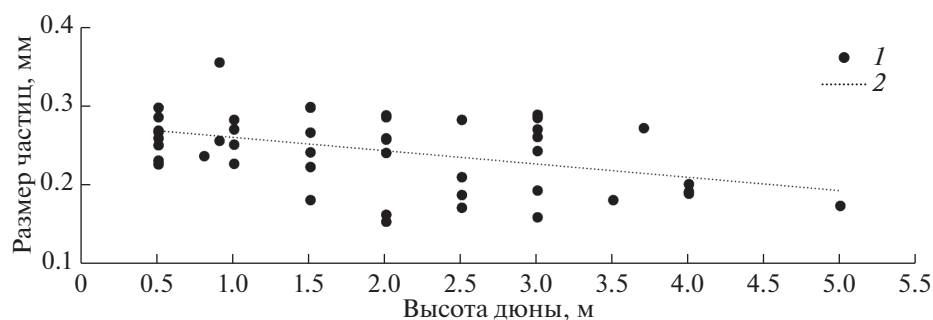


Рис. 4. Распределение  $d_{50}$  в зависимости от высоты дюны по данным 2015 г. 1 – данные 2015 г., 2 – линейная аппроксимация.

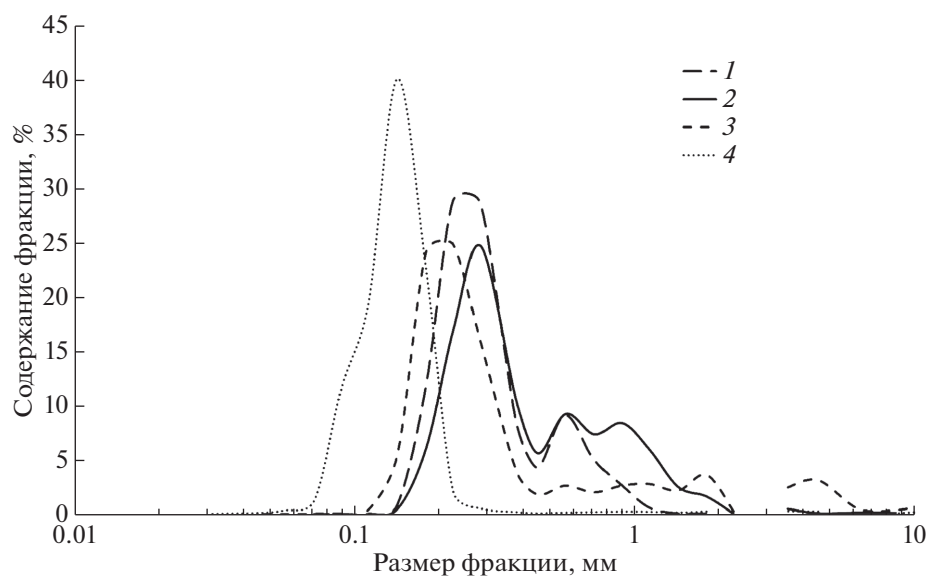
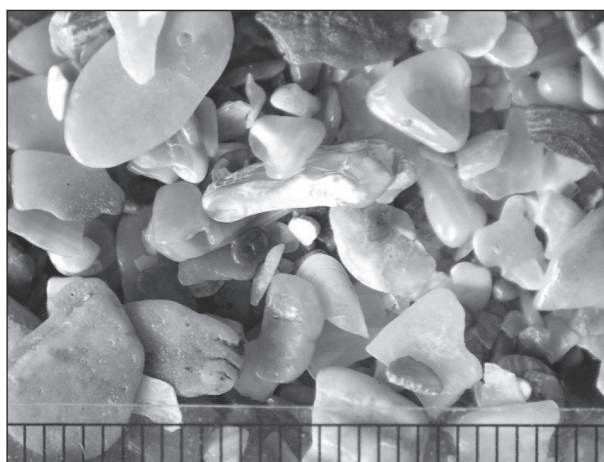


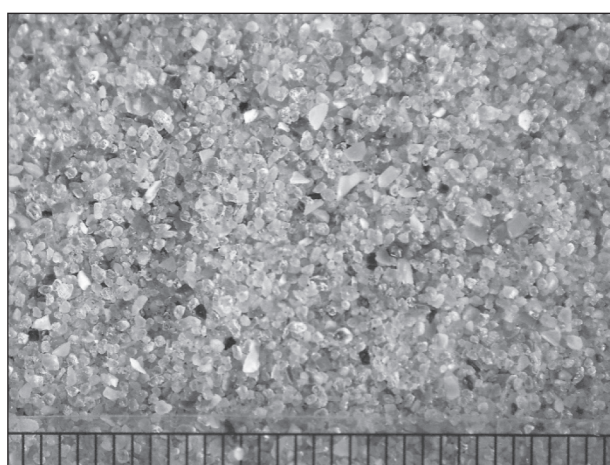
Рис. 5. Пример графиков распределения по механическому составу в створе 24 в 2015 г.: 1 – дюна, 2 – пляж, 3 – подводный вал, 4 – глубина 7 м.



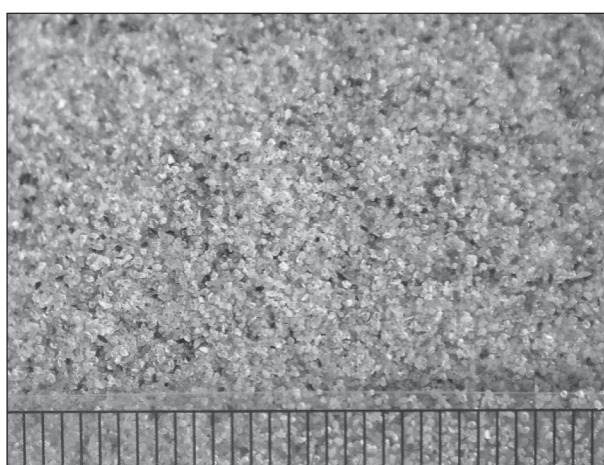
Фракция &gt;2.5 мм



Фракция 2.5–0.4 мм



Фракция 0.4–0.16 мм



Фракция &lt;0.16 мм

**Рис. 6.** Пример состава отложений Анапской пересыпи по пробе с подводного вала в створе 24 по данным 2015 г. (шаг шкалы – 0.25 мм).

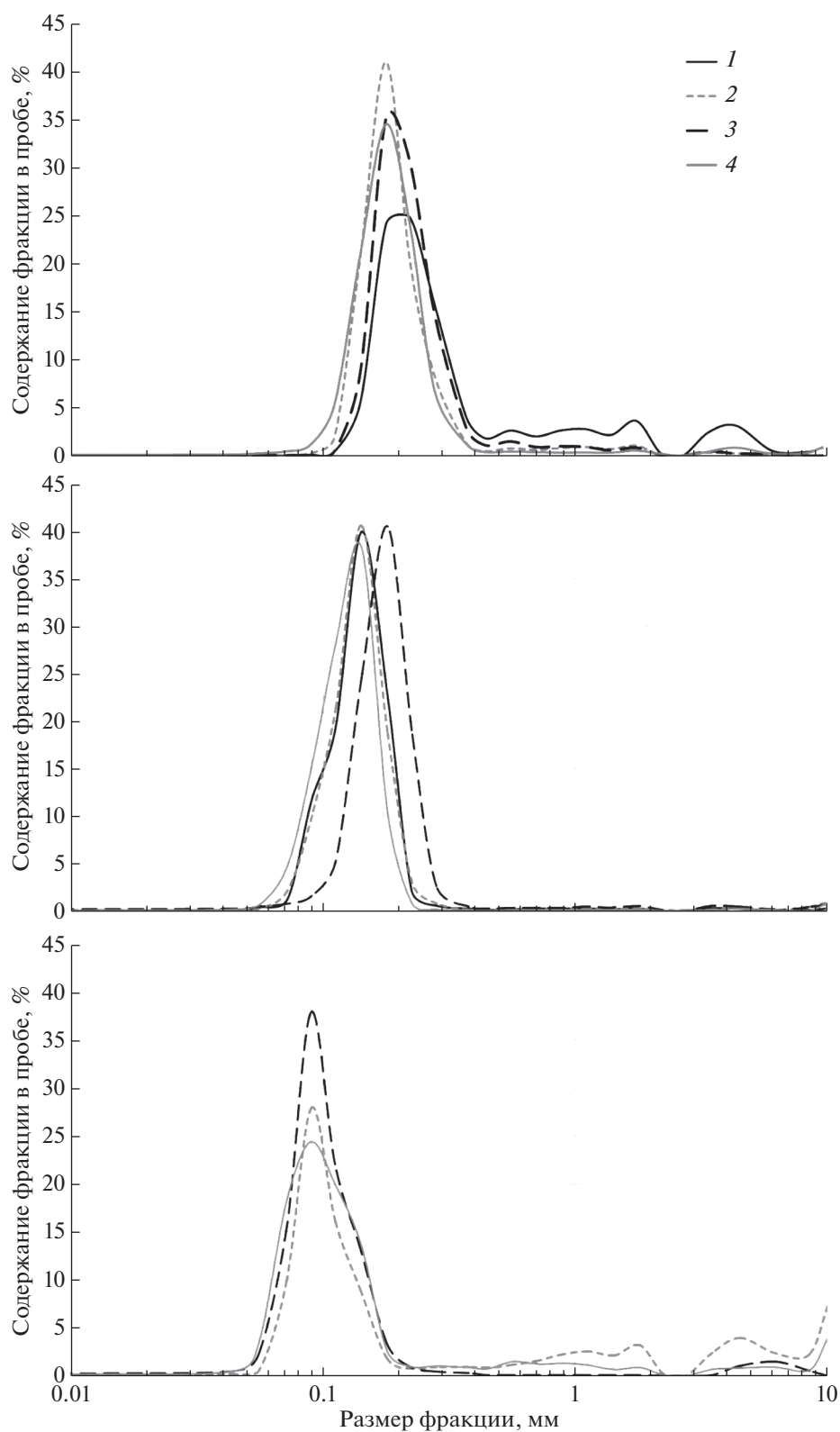
нем 0.77 от общего сырого веса моллюска, донакса – 0.69 (на основании измерений 50 экземпляров каждого вида).

Данные о размерно-возрастной структуре популяции хамелей [47] показывают, что в 2016–2017 гг. наибольшую численность в популяции имели годовики с длиной раковины около 5–9 мм, в 2018 г. – 2–3-летние особи с длиной раковины 11–15 мм (рис. 8). Главной причиной гибели хамелей в прибрежье Анапы является брюхоногий моллюск рапана (*Rapana venosa*) – избирательный хищник, истребляющий наиболее крупных жертв [46]; большая часть съеденных им хамелей имела длину раковины не менее 15 мм. То есть можно считать, что средняя продолжительность жизни хамелей в прибрежье Анапы не превышает 3 лет (хотя встречаются единичные особи, достигшие 8-летнего возраста). Учитывая зависимость массы тела хамелеи от длины раковины и частотное распределение длин раковин в

2016–2018 гг. (рис. 8–9), можно посчитать, что на долю 2–3-летних особей в 2016 г. приходилось около 53% общей массы раковин, в 2017 – 35%, в 2018 – 95% (табл. 4).

Определение возраста донаксов по раковине затруднительно, но, сопоставляя наши данные с данными Deval [41], можно предположить, что подавляющее большинство особей в популяции имеет возраст до года (длина раковины менее 13 мм), на порядок меньшее число – более 1 года (длина раковины 13–19 мм – размер достижения половозрелости, согласно [41]) и только единицы достигают 2 и более лет (длина раковины более 20 мм) (рис. 10). При этом на долю годовиков приходится около 94% биомассы (рис. 9).

Ширина пояса массового развития *S. gallina* на глубинах 6–10 м составляет приблизительно 400 м, *D. trunculus* на глубинах 2–10 м – 900 м. Суммарная масса раковин хамелей и донаксов, рассчитанная на погонный метр пляжа, представлена в



**Рис. 7.** Графики распределения наносов по механическому составу в разные годы в створе 24 на глубинах 2 м (вверху), 6 м (в центре) и 10 м (внизу). 1 – 2015 г., 2 – 2016 г., 3 – 2017 г., 4 – 2018 г. В 2012 г. измерений не было.



**Таблица 2.** Биомасса (г/м<sup>2</sup>) двусторчатых моллюсков *Donax trunculus* и *Chamelea gallina* Анапской пересыпи в 2016–2018 гг.

глубина, м	<i>Donax trunculus</i>				<i>Chamelea gallina</i>		
	2	6	10	среднее для разреза	6	10	среднее для разреза
Июнь 2016							
Разрез 7	410	545	33	329.3	488.0	1616.0	1052
Разрез 18	142	130	192	154.7	363.3	357.0	360.2
Разрез 24	4	423.3	24.2	150.5	302.3	29.3	165.8
Разрез 29	134	44.4	69	82.5	185.5	57.5	121.5
Среднее для глубин 2–10 м	172.5	285.7	79.6	179.2	334.8	515.0	424.9
Июнь 2017							
Разрез 7	33	132	24	63	245.0	448.0	346.5
Разрез 18	26	122	64.5	70.8	70.5	261.5	166.0
Разрез 24	0	38	59	32.3	325.0	62.5	193.8
Разрез 29	92	12	85	63	78.0	145.0	111.5
Разрез 40	1	80	12	31	138	8.5	73.3
Среднее для глубин 2–10 м	30.4	76.8	48.9	52	179.6	229.3	178.2
Май 2018							
Разрез 7	32	90	26	49.3	210.5	30.5	120.5
Разрез 18	26	37.2	72.5	41.9	221.5	337.5	279.5
Разрез 24	10.5	63	46.8	40.1	103.5	137.0	120.3
Разрез 29	33	60.5	35	42.8	649.0	322.5	490.8
Разрез 40	3	153.5	0	52.2	246	60.3	153.2
Среднее для глубин 2–10 м	18.9	80.8	36.1	45.3	296.1	206.9	232.9

**Таблица 3.** Содержание карбонатной составляющей в пробах, отобранных на подводном береговом склоне по данным за 2016–2018 гг. в процентах от общего веса пробы

Номер створа	Глубина 2 м			Глубина 6 м			Глубина 10 м		
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.
7	11.6	13.9	10.0	7.8	13.7	9.9	6.4	11.4	10.3
18	9.4	32.1	11.1	4.8	10.0	8.1	5.7	8.3	9.3
24	12.1	12.4	13.4	7.5	8.9	4.8	30.5	8.7	16.7
29	8.8	2.6	9.5	12.2	13.5	21.1	13.8	10.0	9.5
40	—	8.8	15.0	—	6.9	8.2	—	11.7	3.0

**Таблица 4.** Расчет массы карбонатов, поступивших в осадки Анапской пересыпи в 2016–2018 гг.

год	Средний вес раковин в поясе массового развития, г/м <sup>2</sup>		% раковин, поступивших в осадки за год		Масса раковин, поступивших в осадки за год, г/м <sup>2</sup>		Масса раковин на погонный метр берега, кг		Общая масса раковин на погонный метр берега, кг
	<i>C. gallina</i>	<i>D. trunculus</i>	<i>C. gallina</i>	<i>D. trunculus</i>	<i>C. gallina</i>	<i>D. trunculus</i>	<i>C. gallina</i>	<i>D. trunculus</i>	
2016	327.2	123.7	53	94	173.4	116.3	69.4	104.7	174.1
2017	137.1	35.9	35	94	48.0	33.7	19.2	30.3	49.5
2018	179.3	31.3	95	94	170.3	29.4	68.1	26.5	94.6

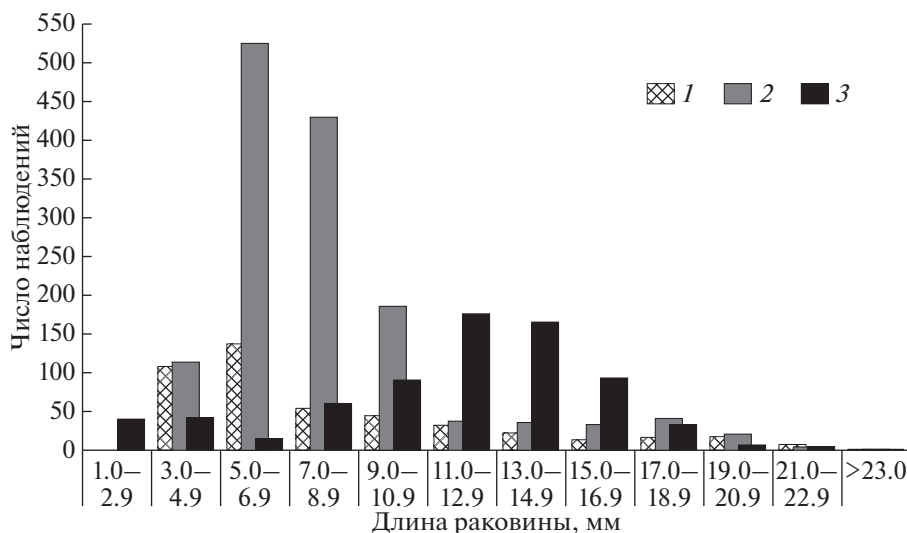


Рис. 8. Распределение размеров *Chamelea gallina* в 2016–2018 гг. 1 – 2016 г., 2 – 2017 г., 3 – 2018 г.

табл. 4. Можно заметить, что максимальная масса раковин поступила в осадки в 2016 г., минимальная – в 2017 г., а в 2018 г. она немного увеличилась. Можно также отметить, что доля раковин донасков в общей массе карбонатов резко уменьшилась в 2018 г.: если в 2016 г. она составила 60% (был всплеск численности), а в 2017 г. – 61%, то в 2018 г. – только 28%. Масса раковин хамелий, поступивших в осадки в 2016 и 2018 гг., была практически одинакова, так как, несмотря на почти вдвое большую биомассу моллюсков в 2016 г., половина их имела возраст до года, в то время как в 2018 г. таких особей было только 5%. В 2017 г. мас-

са раковин хамелий сократилась более чем втрое, что могло быть связано с высокой численностью рапаны в 2016 г. В 2017 и 2018 гг. ее численность упала, что могло поспособствовать увеличению в 2018 г. доли взрослых особей в популяции [47].

Длина изучаемого участка Анапской пересыпи – 45 км. В 2016 г. на пляж в результате жизнедеятельности моллюсков поступило 7834.5 т биогенных карбонатов, в 2017 г. – 2227.5 т, в 2018 г. – 4257 т. По данным Косьян с соавт. [18], пересчитанным по вышеприведенной схеме на всю длину пересыпи (45 км), в 2010 г. в осадки поступило 4555.4 т. Как видим, объем ежегодного поступления карбонатов в прибрежную полосу весьма изменчив, поскольку продукция моллюсков подвержена сильным межгодовым колебаниям. Учитывая среднюю массовую долю карбонатов в песках Анапской пересыпи – 11%, вклад ракушечного материала в общий бюджет наносов вполне заметен. Значительное сокращение продуктивности моллюсков, вероятно, может усилить деградацию всей пересыпи. Соответственно, для повышения устойчивости Анапской пересыпи необходимо принимать меры по защите не только рельефа и наносов надводной части пересыпи, но и прибрежных донных биоценозов.

## ВЫВОДЫ

При рассмотрении вдольберегового изменения размера частиц видно, что крупность песка увеличивается в направлении от краев пересыпи к ее центру.

В поперечном распределении гранулометрического состава отложений Анапской пересыпи хорошо видно, что наиболее мелкий песок отлагается на глубине 7 м, а наиболее крупный – на пляже.

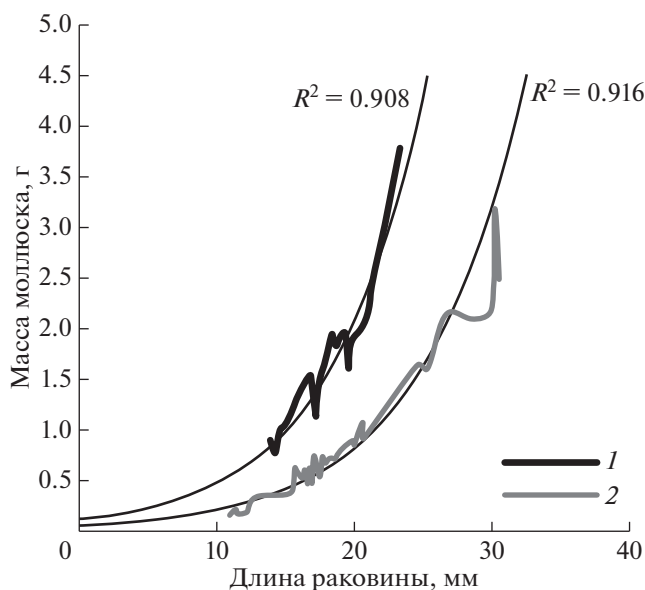


Рис. 9. Зависимость сырой массы *C. gallina* и *D. trunculus* от длины раковины.  $N = 50$ . 1 – *C. gallina*, 2 – *D. trunculus*.

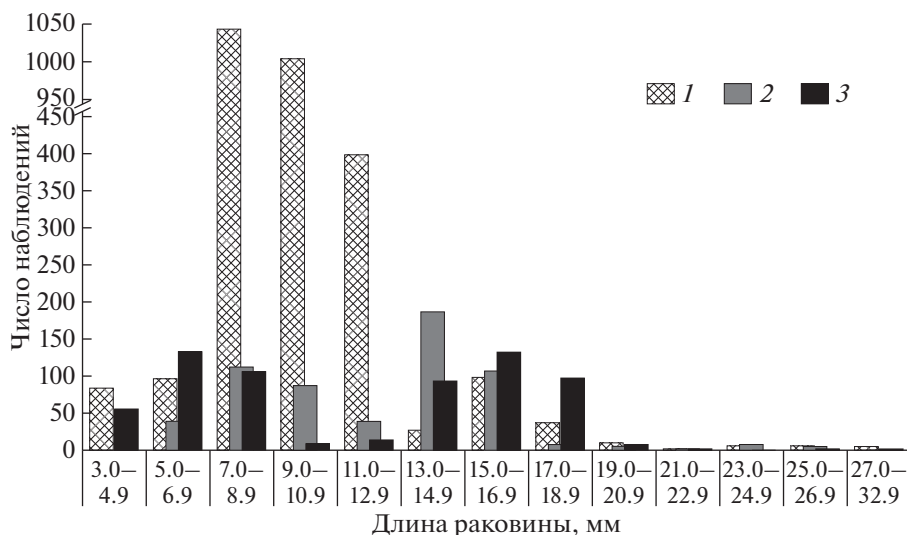


Рис. 10. Распределение размеров *Donax trunculus* в 2016–2018 гг. 1 – 2016 г., 2 – 2017 г., 3 – 2018 г.

В распределении гранулометрического состава на подводных валах наблюдается прямая зависимость от глубины над вершиной вала — чем глубже, тем мельче песок.

В распределении гранулометрического состава на дюнах также наблюдается прямая зависимость от высоты вершины дюны — чем выше, тем мельче песок.

При сравнении данных 2012–2018 гг. видно, что крупность и состав песка существенно не изменились.

Средняя массовая доля карбонатов в песках Анапской пересыпи — 11%, а ежегодный вклад ракушечного материала в общий баланс наносов составляет более 4000 т. Эти данные указывают на положительную роль прибрежных моллюсков в поддержании стабильности берегов и важность принятия мер по защите прибрежных донных сообществ.

**Источник финансирования.** Исследования проводились в рамках работ по теме Госзадания № 0149-2019-0014. Натурные наблюдения, камеральная обработка полевых данных и анализ литературы выполнялись при поддержке грантов РФФИ № 18-05-80035, № 18-55-34002, № 18-05-00333, № 19-45-230001, № 19-45-230004, № 19-05-00041.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айбулатов Н.А. Динамика твердого вещества в шельфовой зоне. М.: Наука, 1990. 272 с.
2. Айбулатов Н.А. Исследование вдольберегового перемещения песчаных наносов в море. М.: Наука, 1966. 149 с.
3. Айбулатов Н.А., Новикова З.И., Юркевич М.Г. Процессы современного осадкообразования на шельфе северо-восточной части Черного моря // Проблемы четвертичной истории шельфа. М.: Наука, 1982. С. 98–110.
4. Айбулатов Н.А., Щербаков Ф.А., Кузнецов В.Г., Студзинский В.П. Новые данные о происхождении Анапской пересыпи и прилегающих районов шельфа Черного моря // Современные процессы осадконакопления на шельфах Мирового океана. М.: Наука, 1990. С. 89–95.
5. Анцыферов С.М., Косьян Р.Д. Исследование движения взвешенного обломочного материала в верхней части шельфа, мористее зоны валов // Океанология. 1977. Т. 22. № 3. С. 497–505.
6. Выхованец Г.В. Эоловый процесс на морском берегу. Одесса: Изд-во "Астропринт", 2003. 368 с.
7. ГОСТ 25100–2011. Грунты. Классификация.
8. Динамическая геоморфология / Под ред. Ананьева Г.С. и др. М.: Изд-во МГУ, 1992. 448 с.
9. Егоров Е.Н. Наблюдения над динамикой подводных песчаных валов // Труды Ин-та океанол. АН СССР. 1951. Т. 6. С. 117–125.
10. Егоров Е.Н. Роль эоловых процессов в динамике отлогого аккумулятивного берега // Тр. Ин-та океанол. АН СССР. 1953. Т. 7. С. 126–134.
11. Егоров Е.Н., Зенкович В.П. Об исследовании перемещения песчаных наносов // Тр. Ин-та океанол. АН СССР. 1957. Т. 21. С. 87–99.
12. Зенкович В.П. Берега Черного и Азовского морей. М.: Гос. Изд-во географической литературы, 1958. 374 с.
13. Зенкович В.П. Морфология и динамика берегов Черного моря в пределах границ СССР, ТОМ III, Часть III. Региональная; Раздел II. Центральная часть (Южный Крым, полуострова Керченский и Таманский). М.: изд-во ИО АН СССР, 1954. С. 152.
14. Зенкович В.П. Морфология и динамика советских берегов Черного моря. М.: изд-во АН СССР, 1958. Т. 1. 187 с.
15. Зенкович В.П. Морфология и динамика советских берегов Черного моря. М.: изд-во АН СССР, 1960. Т. 2. 216 с.

16. *Измайлов Я.А.* Эволюционная география побережий Азовского и Черного морей. Кн. 1. Анапская пересыпь. Сочи, 2005. 174 с.
17. *Каплин П.А., Поротов А.В., Янина Т.А. и др.* Возраст и условия формирования Бугазской пересыпи // Вестник Моск. университета. 2001. Сер. География. № 2. С. 87–95.
18. *Косьян А.Р., Кучерук Н.В., Флинт М.В.* Роль раковинных моллюсков в балансе осадков Анапской пересыпи // Океанология. 2012. Т. 52. № 1. С. 78–84.
19. *Косьян Р.Д., Крыленко В.В.* Основные критерии комплексной классификации Азово-Черноморских берегов России // Океанология. 2018. Т. 58. № 3. С. 501–511.
20. *Косьян Р.Д., Крыленко В.В.* Современное состояние морских аккумулятивных берегов Краснодарского края и их использование. М.: Научный мир, 2014. 256 с.
21. *Косьян Р.Д., Куклев С.Б., Крыленко В.В.* Хрупкое равновесие Анапской пересыпи // Природа. 2012. № 2. С. 19–28.
22. *Косьян Р.Д., Пыхов Н.В.* Гидрогенные перемещения осадков в береговой зоне моря. М.: Наука, 1991. 280 с.
23. *Кравцова В.И., Крыленко В.В., Другов М.Н., Бойко Е.С.* Исследование динамики рельефа северо-западной части Анапской пересыпи по материалам воздушного лазерного сканирования // Геоинформатика. 2017. № 4. С. 48–62.
24. *Кравцова В.И.* Изучение и картографирование ландшафтно-морфологической структуры Анапской пересыпи по космическим снимкам высокого разрешения // Геодезия и картография. 2013. № 12. С. 11–20.
25. *Кравцова В.И., Чалова Е.Р.* Природная и антропогенная дифференциация ландшафтно-морфологической структуры южной части Анапской пересыпи: картографическая оценка // Геоморфология. 2016. № 4. С. 43–55.
26. *Крыленко В.В.* Динамика морского берега Анапской пересыпи // Океанология. 2015. Т. 55. № 5. С. 821–828.
27. *Крыленко В.В., Косьян Р.Д., Кочергин А.Д.* Закономерности формирования гранулометрического состава донных и пляжевых отложений Анапской пересыпи // Океанология. 2011. Т. 51. № 6. С. 1123–1134.
28. *Крыленко В.В., Кочергин А.Д., Крыленко М.В.* Новые данные о гранулометрическом составе отложений Анапской пересыпи // Океанология. 2016. Т. 56. № 1. С. 154–158.
29. *Лонгинов В.В.* Динамика береговой зоны бесприливных морей. Изд-во АН СССР, 1963. 378 с.
30. *Набоженко М.В.* Современное распределение двусторчатых моллюсков (Mollusca: Bivalvia) северо-восточной части Черного моря // Вестник южного научного центра РАН. 2011. Т. 7. № 3. С. 79–86.
31. *Невесский Е.Н.* История развития Анапской пересыпи // Тр. Ин-та океанолог. 1957. № 8. С. 35–45.
32. *Невесский Е.Н.* О послеледниковой трансгрессии Черного моря // Докл. АН СССР. 1961. Т. 137. № 3. С. 667–670.
33. *Невесский Е.Н.* Процессы осадкообразования в прибрежной зоне моря. М.: Наука, 1967. 255 с.
34. *Санникова А.Б., Камбарова Е.А., Кулебякина О.А.* Некоторые аспекты социально-экономического развития МО город-курорт Анапа // Курортно-рекреационный комплекс в системе регионального развития: инновационные подходы. 2016. № 1. С. 359–362.
35. *Сафьянов Г.А.* Геоморфология морских берегов. М.: Изд-во МГУ, 1996. 406 с.
36. *Флёров А.Ф.* Песчаные ландшафты Черноморско-Азовского побережья Кавказа, их происхождение и развитие // Изв. ГГО. 1931. Т. LXIII. Вып. 1. С. 22–41.
37. *Флёров А.Ф.* Типы растительности дельты и низовья реки Кубани и реки Анапки // Тр. Сев. кав. ассоциации НИИ. Ростов-на-Дону. 1930. № 5. С. 54–63.
38. *Шуйский Ю.Д.* Опыт изучения баланса осадочного материала в береговой зоне Черного моря // Геологический журнал. 1981. Т. 41. № 5. С. 82–89.
39. *Шуйский Ю.Д.* Проблемы исследования баланса наносов в береговой зоне морей. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 240 с.
40. *Chave K.E.* Skeletal durability and preservation // Approaches to paleoecology. Wiley and Sons Inc, New York. 1964. V. 4. P. 377–387.
41. *Deval M.C.* Growth and reproduction of the wedge clam (*Donax trunculus*) in the Sea of Marmara, Turkey // Journal of applied ichthyology. 2009. № 25. P. 551–558.
42. *Driscoll E.G.* Selective bivalve destruction in marine environments, a field study // Journal of Sedimentary Petrology. 1970. № 40. P. 898–905.
43. *Fedorova E., Krylenko V., Kosyan A.* Granulometric analysis of the Anapa bay-bar sediments (the Black Sea, Russia) // Proceedings of SPIE. 2018. V. 10773. 107731D.
44. *Force L.M.* Calcium Carbonate Size Distribution on the West Florida Shelf and Experimental Studies on the Microarchitectural Control of Skeletal Breakdown // Journal of sedimentary petrology. 1969. V. 39(3). P. 902–934.
45. *Halley R.B.* 11 Things a Geologist Thinks an Engineer Should Know About Carbonate Beaches // First International Symposium on Carbonate Sand Beaches. 2000. [https://doi.org/10.1061/40640\(305\)1](https://doi.org/10.1061/40640(305)1)
46. *Kosyan A.R.* Predation mechanisms of *Rapana venosa* (Gastropoda: Muricidae) in different biotopes along the Black Sea coast // Marine Pollution Bulletin. 2016. V. 102 (2). P. 265–270.
47. *Kosyan A.R., Divinsky B.V.* *Chamelea gallina* in the coastal waters of the Anapa bay bar (the Black Sea) as a carbonate sediment producer // Oceanologia. 2019. V. 61. P. 471–483.
48. *Krylenko V., Krylenko M.* Lagoons of the Black Sea. In The diversity of Russian estuaries and lagoons exposed to human influence / Ed. Kosyan R. Springer International Publishing, 2017. P. 93–110.
49. *Milliman J.D.* Marine carbonates. Springer. Verlag Berlin, 1974. 375 p.
50. *Ramon M., Richardson C.A.* Age determination and shell growth of *Chamelea gallina* (Bivalvia: Veneridae) in the western Mediterranean // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1992. V. 89 (1). P. 15–23.

## Distribution and Composition of the Anapa Bay–Bar Sediments

R. D. Kosyan<sup>a, #</sup>, A. R. Kosyan<sup>b</sup>, V. V. Krylenko<sup>a</sup>, E. A. Fedorova<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>b</sup>*Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>#</sup>*e-mail: rkosyan@hotmail.com*

The paper describes the composition of bottom and beach sediments of the large accumulation form (the Anapa Bay-bar). It has been shown that the sand particles size increases in the direction from the edges of the bar to its center and from a depth of 7 m to the beach. When comparing the data of 2012–2018, it can be seen that, on the whole, the size and composition of the sand have not changed significantly. The mean share of carbonates in bottom sediments was 11%. Analysis of two mass mollusc species biomass dynamics in 2016–2018 shows that the increase in carbonates content is not directly related to the increase in the living molluscs biomass. Average annual production of bivalves' shells is more than 4000 t.

**Keywords:** Anapa bay–bar, beach, sediments, granulometric composition, carbonates, biomass, *Chamelea gallina*, *Donax trunculus*, Black Sea